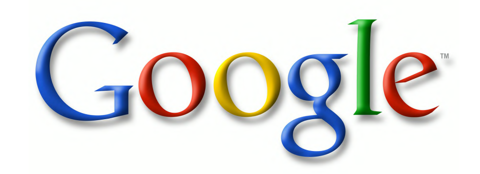
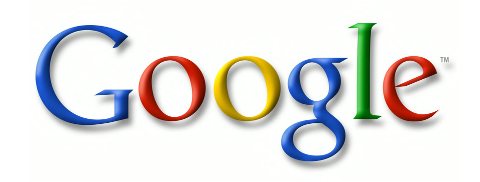
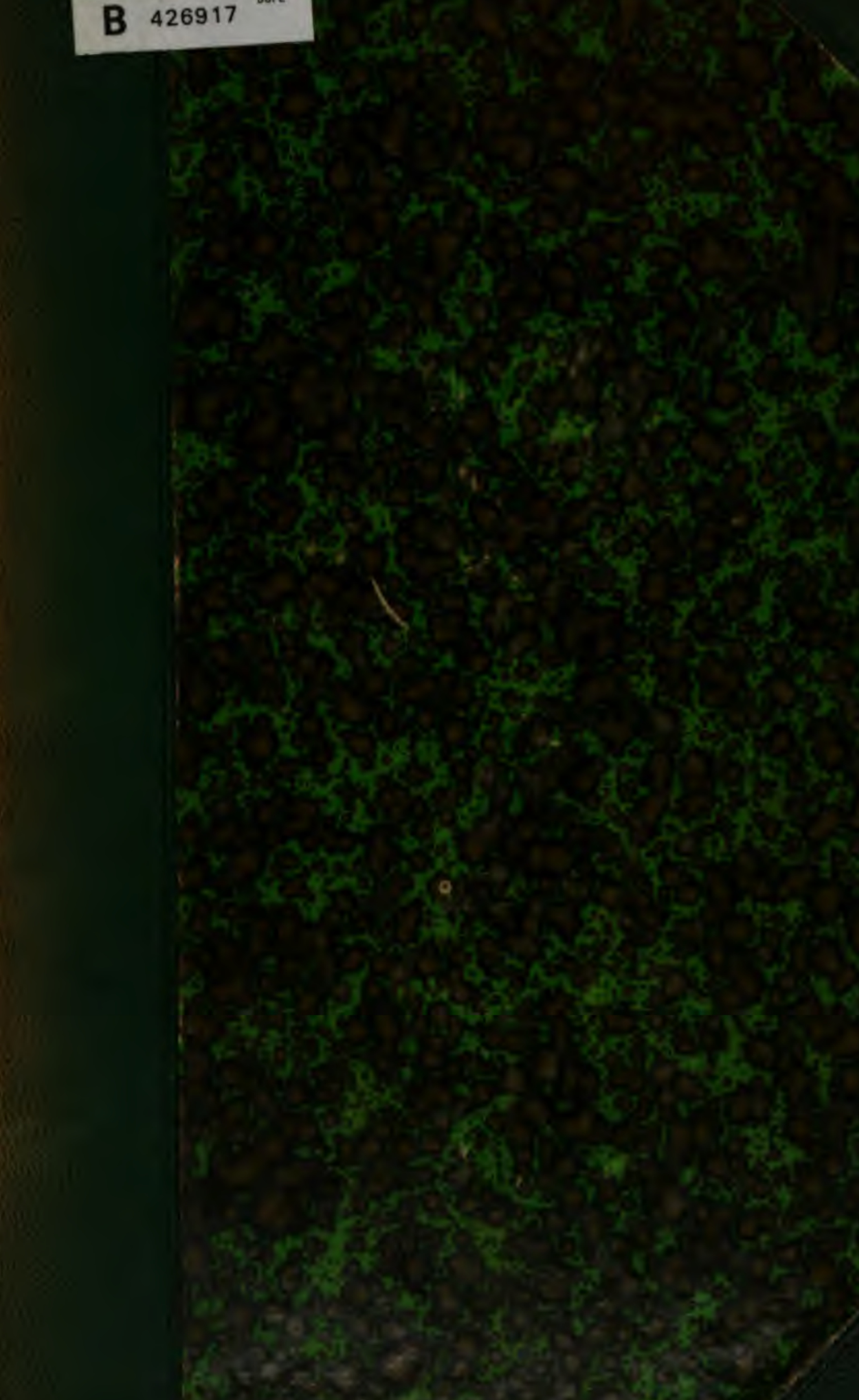
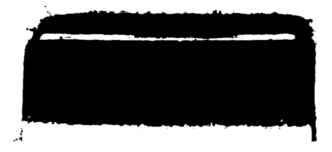








SOCIÉTÉ

DES

INGÉNIEURS CIVILS

DE FRANCE

ANNÉE 1907

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ

DES

INGÉNIEURS CIVILS

DE FRANCE

FONDÉE LE 4 MARS 1848

RECONNUE D'UTILITÉ PUBLIQUE PAR DÉCRET DU 22 DÉCEMBRE 1860

ANNÉE 1907

DEUXIÈME VOLUME

PARIS

HOTEL DE LA SOCIÉTÉ

19, RUE BLANCHE, 19

—

1907

La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses Membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE

BULLETIN

DE

JUILLET 1907

N° 7

OUVRAGES REÇUS

Pendant le mois de juillet 1907, la Société a reçu les ouvrages suivants :

Chemins de fer et Tramways.

Il Problema ferroviario del Porto di Genova. Relazione della Commissione nominata con decreto ministeriale 18 marzo 1903. Parte seconda (in-4°, 320 × 225 de 206 p. avec 5 pl.). Genova, Stabilimento Fratelli Pagano, 1907. (Don de Ferrovie della Stato. Direzione compartimentale di Genova.) 44960

THERYC (Ch.). — *La question des tunnels des Alpes. Une solution. Moyen pratique de les contourner et paralyser*, par Charles Theryc (in-8°, 215 × 135 de 24 p. avec 2 fig.). Marseille, Imprimerie Samat et Cie, 1907 (Don de l'auteur, M. de la S.). 44963

Chimie.

POST (J.), NEUMANN (B.), GAUTIER (Dr L.). — *Traité complet d'analyse chimique appliquée aux essais industriels*, par J. Post et B. Neumann, avec la collaboration de nombreux chimistes et spécialistes. Deuxième édition française entièrement refondue, traduite d'après la troisième édition allemande et augmentée de nombreuses additions, par le Dr L. Gautier. *Tome Ier. Premier fascicule* (in-8°, 255 × 165 de 219 p. avec 104 fig.). Paris, A. Hermann, 1907 (Don de l'éditeur). 44959

Économie politique et sociale.

Chambre de commerce de Rouen. Compte rendu des travaux pendant l'année 1906 (in-4°, 245 × 195 de 406 p.). Rouen, Imprimerie Lecerf fils, 1907. 44964

Médecine, Hygiène, Sauvetage.

Solution d'un grave problème d'hygiène publique. Épuration des eaux résiduaires, par le Système Physico-Chimique Vial. Épuration et stérilisation complète par circulation continue en quinze minutes. Suppression des lits filtrants. Utilisation des résidus. Économie de main-d'œuvre. Minimum d'emplacement. Suppression des émanations. Assainissement des cours d'eau, 1907. L'Épuration, Société anonyme. Rue Belliard, 117, Bruxelles (in-4°, 310 × 240 de 48 p. avec fig. et pl.). Bruxelles, Gouweloc, 1907 (Don de M. le Président de L'Épuration). 44965

Métallurgie et Mines.

Comité Central des Houillères de France. Annuaire. Houillères. Mines métalliques. Treizième année, 1907 (in-8°, 220 × 135 de 858-96 p. avec cartes). Paris, 55 rue de Châteaudun, Mai 1907. 44966

Navigation aérienne, intérieure et maritime.

FRICKER. — *Résistance des carènes*, par M. Fricker (Encyclopédie scientifique des aide-mémoire) (in-8°, 190 × 120 de 168 p. avec 22 fig.). Paris, Gauthier-Villars; Masson et Cie, 1907 (Don de l'éditeur). 44967

Sciences morales. — Divers.

Alfred Bethouart. 30 décembre 1839-12 mars 1907. Notices nécrologiques (in-8°, 200 × 130 de 28 p. avec 1 phot.). Chartres, Imprimerie Ed. Garnier (Don de l'éditeur). 44962

Technologie générale.

École Centrale des Arts et Manufactures. Portefeuille des travaux de vacances des Élèves, publiés par la Direction de l'École. Année 1905. Année 1906. (Ministère du Commerce et de l'Industrie) (2 atlas 570 × 410 de 40 pl. et de 42 pl.). Paris, Imprimerie et Librairie des Arts et Manufactures, 1906-1907 (Don de M. P. Buquet, Directeur de l'École Centrale, M. de la S.). 44968 et 44969

Ingeniøren. I.-XV. Aargang 1892-1906. Indholdsfortegnelse ordnet efter decimalsystemet (in-4°, 320 × 220 de 52 p. à 2 col.). Kobenhavn, Trykt hos J. Jorgensen et C°, 1907. 44970

Transactions of the Engineering Society. University of Toronto. Number 20, 1906-1907 (in-8°, 220 × 145 de 248 p.). Toronto, The Carswell Company Limited, 1907. 44961

MEMBRES NOUVELLEMENT ADMIS

Les Membres nouvellement admis pendant le mois de juillet 1907, sont :

Comme Membres Sociétaires Titulaires, MM. :

R. Bigot,	présenté par MM.	G. Dumont, E. Jullien, Hegelbacher.
H.-N. Bricard,	—	G. Canet, Coville, A. Normand.
F. Didier,	—	Ferré, E. Petit, Robert de la Mahotière.
J. Lemaire,	—	Candlot, Cóueffin, Gallois.
F. Otto.	—	Reumaux, Ghislain, Joubert.
E.-J. Petitgout,	—	A. Mallet, Janrot, de Dax.
R. Renoux,	—	Bourdon, Gœdkop, Massalski.
J. Rossi,	—	Eyrolles, Galotti, Quesnel.
P. Vauthier,	—	Cornuault, G. Canet, Godillot.
J. Verney,	—	Ferry, Lavoix, Taupiat de Saint-Symeux.
A. Witzig,	—	Poste-Vinay, Javaux, Schuhler.

Comme Membre Associé, M. :

R. Alphand, présenté par MM. A. Couvreux, P. Decauville, Ch. Prevet.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU MOIS DE JUILLET 1907

PROCÈS-VERBAL

DE LA

SÉANCE DU 5 JUILLET 1907

Présidence de M. E. Cornuault, Président.

La séance est ouverte à huit heures trois quarts.

Le Procès-verbal de la précédente séance est lu et adopté.

M. le Président a le regret de faire connaître le décès de MM. :

Gaston Sautter, Membre de la Société depuis 1904, Gérant de la Société Sautter, Harlé et Cie, Chevalier de la Légion d'honneur;

J. E. Gauquelin, Membre de la Société depuis 1890. A été attaché comme Ingénieur aux Forges et Chantiers de la Méditerranée. Directeur de la Maison Berger-André et Cie, constructeurs de machines.

M. le Président adresse aux familles de ces Collègues l'expression des sentiments de douloureuse sympathie de la Société.

M. le Président dépose sur le Bureau la liste des ouvrages reçus depuis la dernière séance. Cette liste sera insérée dans l'un des plus prochains Bulletins.

M. le Président entretient de nouveau la Société de la visite projetée aux usines hydro-électriques du littoral méditerranéen. Le voyage aura lieu au commencement d'octobre, très probablement du 7 au 13 octobre, une circulaire sera encartée dans le procès-verbal et donnera des indications complémentaires sur cette visite.

M. le Président rappelle que, comme chaque année, pendant les vacances, les Bureaux et la Bibliothèque seront ouverts de 9 heures à midi et de 2 heures à 5 heures.

M. le Président donne la parole à M. P. Besson pour sa communication sur l'*interruption des Chemins de fer en Algérie pendant la deuxième quinzaine de février 1907.*

M. Besson rappelle tout d'abord que l'hiver a été très pluvieux et très froid en Algérie, particulièrement sur les hauts plateaux de la province de Constantine ; vers le 8 février, une épaisse couche de neige couvrait la région, sur les montagnes en arrière de Bône, la neige descendit à 300 m d'altitude, fait extrêmement rare ; le 22 février, M. Besson vit encore 50 cm de neige près de Sétif.

Le 15 février, le vent du sud amena une pluie diluvienne, qui dura trente-six heures et atteignit une hauteur de 60 cm aux pluviomètres de Bône. La pluie coïncidant avec la fonte des neiges transforma les oueds en de véritables torrents dévastateurs, qui produisirent la corrosion des berges, enlevèrent les talus de chemins de fer, comblèrent les tranchées et les tunnels, firent crouler les culées et les piles de ponts.

Les dégâts furent très importants et l'interruption des communications par voie ferrée fut complète pendant quelques jours. La Compagnie du Bône-Guelma fut la plus éprouvée; son personnel, remarquablement dirigé par M. Supermant, Ingénieur en chef du service de la Voie pour le réseau algérien, et par M. Bel, chef du même service pour le réseau tunisien, rivalisa de zèle et d'ingéniosité pour rétablir rapidement les communications au milieu de difficultés sans nombre.

M. Besson se plaît à rappeler qu'un grand nombre d'Ingénieurs de la Compagnie Bône-Guelma font partie de la Société des Ingénieurs Civils : MM. Lorieux, administrateur-délégué, L. Félix, du Beaufret, Mocqueris, Ochs, Prévost et Roudy.

M. Besson fait projeter des vues représentant les principales coupures de la ligne de Bône à Kroubs sur laquelle la circulation a été interrompue du 16 février au 26 février. Au kilomètre 162,500, la plate-forme a été emportée sur 140 m, la voie est restée suspendue comme un pont ; au kilomètre 118,200, un morceau de montagne haut de 145 m et large de 80 m est venu obstruer la voie et les deux tiers de la rivière : une photographie prise du haut de l'éboulement est particulièrement impressionnante ; on a pu rétablir la circulation en faisant contourner l'éboulement par une courbe de 68 m de rayon. La plaine de Bône a été couverte par les eaux dont le hauteur en certains points était de 3 m ; la gare a été sous plus de 30 cm d'eau pendant plusieurs jours.

M. Besson fait voir les dégâts considérables produits par la Medjerda sur la ligne de Bône à Souk-Arras et la Tunisie ; en certains points, la rivière est montée de 10 m. Les vues représentant la coupure des kilomètres 137, 141,500 et 142 sont groupées sur une même projection. Une seconde série représente l'ensemble des coupures du kilomètre 143 au kilomètre 144 ; en ce dernier point, un tunnel fut obstrué sur une longueur de 40 m et une hauteur de 3 m. Enfin, une dernière série de trois vues montre la grande obstruction du kilomètre 146, où la voie fut couverte sur une hauteur de 8 m.

En Tunisie, les dégâts furent moins importants. Cependant, on fut obligé de faire douze coupures dans un remblai, dont une au moins de

9 m 50, pour assurer l'écoulement des eaux qui inondaient un village placé en amont et montaient à plus de 1,50 m.

M. Besson parle rapidement des coupures survenues sur les lignes de Souk-Ahras à Tébessa, de Constantine à Philippeville, de Bône à Saint-Charles.

Pour terminer, M. Besson fait projeter les vues représentant la catastrophe de Bouira : un pont, long de 52 m et haut de 5 m, bascula autour de la pile médiane, la culée ouest s'étant écroulée au passage de la locomotive d'un train de marchandises. La locomotive, le tender, le fourgon de tête et trois wagons tombaient les uns sur les autres. Le mécanicien fut tué sur le coup; le chauffeur, jeté dans l'Oued-Eddous, fut repêché à 300 m de là et mourut au bout de quelques heures. La Compagnie de l'Est-Algérien put assurer le transbordement dès le lendemain de l'accident.

En résumé, grâce à l'initiative de tous, les communications furent assurées en Algérie, à un moment où les voyageurs étaient très nombreux et alors qu'aux premières nouvelles on croyait à une interruption devant durer, en certains points, plus de trois mois. En Algérie comme en Tunisie, les services publics rivalisèrent de zèle avec les services privés pour faire au mieux des intérêts de tous et on est en droit de les féliciter sans réserve.

M. le Président remercie M. Besson de ses intéressants renseignements.

M. Charvaut a la parole pour sa communication sur l'*Érection du Phare de Sanganeb (mer Rouge).*

M. Charvaut expose tout d'abord comment le Gouvernement anglo-égyptien du Soudan a été amené à créer la ville de Port-Soudan, terminus de la ligne de chemin de fer Nil-Mer Rouge.

Cette voie ferrée, qui permet les communications avec toute l'Afrique équatoriale, commencée en 1902, relie Berber, sur le Nil au nord de Khartoum, à Souakim, port de la mer Rouge d'un accès difficile.

C'est à Cheik-el-Barough, à 25 milles au nord de Souakim, dans un endroit absolument désert, où existe une rade naturelle spacieuse et d'accès facile que, en 1905, fut commencée la construction de la ville nouvelle appelée Port-Soudan. A cette époque, l'Administration des Ports et Phares du Gouvernement égyptien mettait en adjudication la construction d'un phare sur le récif de Sanganeb, situé à 13 milles à l'est de Port-Soudan, pour permettre l'entrée de ce port de nuit et de jour.

L'Administration imposait la cote de 50,30 m pour la hauteur de la ligne focale au-dessus du niveau de la mer ; le phare devait être construit en forme de tour en fer à treillis; le feu de premier ordre à éclats avec lampe à pétrole; la résistance à la pression du vent était fixée à 267 kg par m². Elle recommandait la construction sur pieux à vis enfoncés dans le corail et insistait sur la nécessité de protéger contre la chaleur les logements des gardiens construits dans la tour.

Les offres étaient remises le 1er juillet 1905 et, parmi les différents projets présentés, le Gouvernement adoptait celui dressé en collabo-

ration par MM. Schneider et Cie, Guétin et Charvaut et la Société des Établissements Henry-Lepaute.

MM. Schneider et Cie avaient étudié spécialement tout ce qui concernait la partie métallique; MM. Guétin et Charvaut, qui avaient fait sur le récif et à Cheik-el-Barough les études nécessaires à l'établissement des fondations, devaient être chargés de l'exécution sur place des travaux et du montage de la tour métallique ; les Etablissements Henry-Lepaute, enfin, avaient à leur charge l'étude et l'exécution de tout ce qui concernait la partie optique.

Le projet écartait la fondation sur pieux à vis ; la solution adoptée consistait dans la construction d'un massif résistant en maçonnerie dans lequel se trouve noyée une couronne octogonale métallique solidement encastrée, servant de base et sur laquelle les montants de la tour viennent s'assembler.

Pour construire dans l'eau, sur le récif submergé et constamment balayé par les lames, le massif de maçonnerie, on constituait d'abord une enceinte, limitant la plate-forme, composée de deux séries de blocs formant deux ceintures octogonales séparées par un espace de 0,60 m qui était ensuite rempli de béton coulé dans l'eau. Cette enceinte terminée, on pouvait procéder en eau calme au coulage du béton de ciment de la plate-forme et à la mise en place de la couronne de base. Les blocs employés étaient des blocs flottants creux en ciment armé, faits à Suez, transportés à Sanganeb, débarqués au récif, flottés jusqu'à leur emplacement et remplis ensuite de béton de ciment. La plate-forme de béton était complétée par un massif de maçonnerie; un appontement allant jusqu'au fond de 5 m permettait l'accès du phare.

La tour était constituée par huit fermes à treillis rayonnant d'un rayon central et entretoisées extérieurement suivant les huit faces ; un escalier était placé dans le rayon central pour permettre l'accès des logements et d'une chambre de service placée à la partie supérieure de la tour sous la chambre d'éclairage. Les logements à deux étages, situés dans le centre de la tour, étaient formés par des armatures métalliques avec garnissage en briques de liège servant à protéger contre les chaleurs. Des réservoirs métalliques noyés dans la maçonnerie permettaient d'emmagasiner l'eau nécessaire à l'alimentation du personnel du phare. La limite du travail du métal par millimètre carré de section nette était prise égale à 9 kg 5.

L'optique de premier ordre de 0,92 m de distance focale se compose de quatre lentilles annulaires donnant toutes les cinq secondes un éclat à lumière blanche. Elle repose sur un plateau en fonte supporté par un arbre vertical en acier guidé à sa partie supérieure par un coussinet et reposant à sa partie inférieure au moyen d'un pivot démontable en acier sur une crapaudine en bronze munie d'un grain d'acier.

L'armature proprement dite comporte trois colonnes avec chemin intermédiaire, colonne centrale supportant le coussinet supérieur et cuve de dimensions réduites placée au-dessous du chemin. Cette cuve est facilement démontable pour permettre le nettoyage du mercure. Le brûleur à incandescence est alimenté par de la vapeur de pétrole injectée au moyen d'acide carbonique sous pression. La machine de rotation

fait effectuer un tour complet en vingt secondes. La lanterne a été spécialement étudiée pour éviter la rentrée de l'air chaud de l'extérieur. La portée du feu, si l'on considère seulement l'intensité du faisceau lumineux obtenue au moyen du brûleur à incandescence, varie de 40 milles par temps moyen à 85 milles par temps clair. Evidemment la portée réelle du feu est limitée à celle due à l'élévation du foyer lumineux au-dessus du niveau de la mer.

Le contrat était signé en septembre 1905 et les travaux commençaient immédiatement. Des carrières étaient ouvertes à Port-Soudan pour extraire les matériaux nécessaires à l'exécution du massif de fondation et les blocs en ciment armé étaient mis en construction sur le quai même de Port-Tewfick pour faciliter leur chargement sur navire. Le 12 décembre 1905, ces blocs étaient chargés sur le *Fortuna*, navire de 700 tonnes de MM. Guétin et Charvaut, ainsi que le matériel nécessaire à l'exécution des travaux. Le *Fortuna* emmenait également un personnel ouvrier de choix, composé d'indigènes du Caire et de quelques Européens. Après cinq jours de traversée, le navire s'ancrait dans l'intérieur du récif de Sanganeb à 1 500 m de l'emplacement du phare.

M. Charvaut fait une description du récif et donne des détails sur sa constitution. La largeur de la ceinture de corail à l'emplacement choisi pour le phare est de 300 m, la hauteur de l'eau à cet endroit varie de 0,80 m à 1,50 m. Pour amener le matériel et les blocs du *Fortuna* au chantier du phare, M. Charvaut utilisa les bois chargés sur le navire pour établir des radeaux sur lesquels le matériel et les blocs furent placés. La distance à franchir était de 1 500 m et les bancs de coraux ne permettaient pas de se servir des barques et des remorqueurs qui avaient été amenés à Sanganeb pour le transport des matériaux et le ravitaillement de Port-Soudan au récif.

En même temps que s'effectuait le débarquement du *Fortuna*, il fut procédé aux installations provisoires sur le récif, construction d'un appontement traversant du nord au sud la ceinture de coraux à l'emplacement du phare, avec débarcadère au sud, permettant l'accostage du navire, construction de logements et de magasins, établissement d'une plate-forme pour la mise en dépôt des blocs et du matériel. Les logements et la plate-forme furent établis en immergeant des blocs creux remplis de sable et surmontés d'une pile en maçonnerie ; sur les points d'appui ainsi constitués on plaçait de grosses poutres en bois et un plancher en madrier. Le 8 janvier 1906, le *Fortuna* quittait Sanganeb et le personnel composé d'une centaine d'ouvriers restait sur le récif, en pleine mer, absolument isolé, sans secours possible en cas d'accident.

La mise en place des blocs était immédiatement commencée et l'enceinte était terminée le 25 janvier. Du mois de février au mois de mai, il fut procédé au coulage du béton dans l'intérieur de l'enceinte de blocs. Au mois de mai, la couronne de base était posée et le montage de la tour par tronçons était commencé.

Les travaux devaient être interrompus au mois d'août, la température dépassant 45 degrés et le personnel étant très éprouvé par la dureté du climat et par l'isolement complet sur le récif. Ils étaient repris en octobre et, la tour achevée, on procédait, en novembre, au montage de

l'appareil optique. La construction des logements et les parachèvements se poursuivaient jusqu'au 27 janvier, date à laquelle l'Administration des Ports et Phares procédait aux essais définitifs et à la prise en charge du Phare. La Commission de réception recevait le travail sans observation et félicitait les constructeurs, qui malgré des difficultés très sérieuses, avaient érigé le phare complet en treize mois.

M. le Président remercie M. Charvaut de sa communication si documentée. La construction du phare de Sanganeb fait honneur à l'industrie française si bien représentée par MM. Schneider et C[ie], MM. Guétin et Charvaut et la Société des Établissements Henry-Lepaute.

Il est donné lecture en première présentation des demandes d'admission de MM. J. Hanscotte, R. Humphrey, P. Sauvage, P. Perdreau, Ch. Schertzmann et F. Turquais comme Membres Sociétaires Titulaires et de

MM. R. Baillot, B. Hoppenot, L. Poron comme Membres Sociétaires Assistants.

MM. R. Bigot, H, Bricard, F. Didier, J. Lemaire, F. Otto, E. Petitgoût, R. Renoux, P. Vauthier, J. Verney, A. Witzig sont reçus comme Membres Sociétaires Titulaires et

M. R. Alphand, comme Membre Associé.

La séance est levée à 10 heures et demie.

L'un des Secrétaires techniques :
P. Schuhler.

ÉTUDE DE QUELQUES PROCÉDÉS ET MÉTHODES

DE

SAUVETAGE ET DE RENFLOUAGE

DES

NAVIRES SOUS-MARINS

PAR

M. M. DIBOS

Chapitre Premier.

Caractéristique des sous-marins français.

Pour fixer les idées, il convient *a priori* de connaître les catégories des navires dits sous-marins.

Il existe, en somme, deux catégories :

1° Les sous-marins proprement dits, n'ayant qu'une faculté relative d'action à la surface, et étant entièrement étudiés et établis pour la navigation sous-marine effective ;

2° Les submersibles qui ne peuvent s'immerger que partiellement et naviguent toujours à la surface, leur coque étant plus ou moins hors de l'eau.

Toutefois quand le *Narval*, de M. l'Ingénieur en Chef de la Marine Laubeuf, fut construit, on le désigna comme submersible pour lui appliquer un qualificatif le différenciant des types des sous-marins *Gymnote* (30 t), *Zédé* (266 t), *Morse* (140 t). En réalité, le *Narval* est un sous-marin autonome à grand rayon d'action. Ses caractéristiques sont : longueur 34 m, largeur 3,75 m, déplacement 106 t. Il est composé de deux coques emboîtées l'une dans l'autre et affectant la forme cylindro-conique. La coque intérieure est en tôle d'acier épaisse ; la coque externe est en tôle d'acier mince. Les réservoirs de stabilité et les réservoirs compensateurs sont placés dans la coque interne. Donc l'immer-

sion est obtenue totale ou partielle par l'introduction d'un lest d'eau.

Au lieu d'incliner le sous-marin pour la plongée en diagonale, M. l'Ingénieur Laubœuf a innové la plongée horizontale, mais sous l'amorce de route orientée par les plans de quatre gouvernails disposés horizontaux, deux vers l'avant, deux vers l'arrière, et montés deux à deux sur le même axe et manœuvrés d'un mouvement uniforme pour présenter, en même temps, un même angle de plongée et de même valeur.

En raison de l'emploi de deux coques, il est embarqué un lest liquide considérable, et ce n'est qu'en multipliant les cloisons étanches reliant ces deux coques et divisant la masse de ce lest liquide qu'on a pu obtenir un réglage correct pour maintenir le navire dans les conditions de stabilité à peu près convenables lors des immersions.

Notons, en passant, les différents tonnages des bateaux formant la flotte des sous-marins et submersibles français :

Algérien et *Français*, 143 t chacun;

Sirène, *Triton*, *Espadon*, *Silure*, 157 t chacun;

Naïade, *Protée*, *Perle*, *Esturgeon*, *Bonite*, *Thon*, *Souffleur*, *Dorade*, *Lynx*, *Ludion*, *Loutre*, *Castor*, *Phoque*, *Otarie*, *Méduse*, *Oursin*, *Grondin*, *Anguille*, *Alose*, *Truite*, 68 t chacun;

Farfadet, *Korrigan*, *Gnome*, *Lutin*, 184 t chacun;

X, 168 t; *Y*, 222 t; *Z*, 202 t;

Aigrette et *Cigogne*, 175 t chacun;

Émeraude, *Opale*, *Rubis*, *Saphir*, *Topaze*, *Turquoise*, 390 t chacun ;

Circé et *Calypso*, 351 t chacun;

Puis dix-huit submersibles (plans de l'Ingénieur Laubœuf), 398 t chacun.

M. Laubœuf a émis l'avis que le tonnage de 400 t ne devait pas être dépassé. Cependant il a été question de préconiser des sous-marins, dits d'escadre, et jaugeant 800 t, ce qui est excessif.

On peut donc voir, par ce qui précède, que les sous-marins actuels jaugent en *moyenne* 300 t. C'est donc ce poids moyen qu'il convient de considérer dans l'étude qui suit, notamment en ce qui a trait aux manœuvres de levage.

CHAPITRE II

Des causes probables des accidents.

Ces causes sont :

1° Intrusion accidentelle d'eau par divers;
2° Explosions internes.

On peut résumer les intrusions d'eau en deux provenances :

a) Par panneau, capot, trou d'homme, écoutille non clos, mal clos, ou non étanches;

b) Par voie d'eau provenant d'une solution de continuité survenue par divers dans la coque.

Sur quatre accidents graves arrivés au cours de ces dernières années à des sous-marins tels que le *Farfadet* (français), les *A*.1 et *A*.3 (anglais), le *Delfin* (russe), les sinistres ont eu pour cause l'intrusion de l'eau par un capot ou panneau mal clos. Je ne note que pour mémoire les mises en fond de l'*Opale* et du *Gymnote* qui furent sinistrés par manque de surveillance, les équipages n'étant pas à bord la nuit dans les arsenaux.

La catastrophe du *Lutin* (français) est due à l'irruption de l'eau extérieure par des ouvertures plus ou moins grandes des tôles ou virures ayant lâché, ou ayant été affaiblies, rongées par les liquides sulfatés, et ayant perdu la résistance à une surpression.

L'échouage sur un récif ou l'abordage par un autre navire ne sont pas redoutables pour les sous-marins. En effet, dans le cas d'immersion totale, sauf une très faible flottabilité restante, le sous-marin est en équilibre de poids dans l'eau, c'est-à-dire qu'un très faible effet suffit pour le faire monter ou descendre. S'il vient à rencontrer un obstacle, une épave, une roche, à peine l'a-t-il touché qu'il bondit par-dessus sans dommage, alors qu'au contraire un navire ordinaire touchant ainsi aurait déjaugé, étant soulevé par la composante verticale de réaction sur l'obstacle, l'épave, la roche, et, pesant alors de tout le poids de sa coque déjaugée, l'aurait crevée ou disjointe. Même phénomène se passerait en cas d'abordage entre deux bateaux sous-marins.

En ce qui concerne les explosions, on peut envisager trois causes :

a) Explosion d'un mélange de pétrole et d'air par suite d'une

fuite d'un réservoir de pétrole coulant à l'intérieur du bateau;

b) Explosion d'un mélange d'hydrogène s'échappant des accumulateurs pendant leur mise en charge ou pendant leur décharge, si en cas d'événement imprévu les batteries sont arrosées ou noyées par de l'eau introduite;

c) Explosion d'un réservoir à air comprimé.

Le sous-marin anglais *A.5* a subi une explosion de la première catégorie. Un autre sous-marin de même nationalité, le *C*, a été avarié tout récemment pour une cause à peu près semblable. En raison de l'odeur caractéristique du pétrole, on peut cependant être averti de l'épanchement de ce liquide. Deux heures après que le sous-marin anglais *A.8* eut été coulé, une explosion évidemment due à une cause de la deuxième catégorie survint du fait de la formation de ce mélange de gaz.

Il arriva des accidents analogues en 1902 à bord du sous-marin *Français*, et, en 1903, à bord de l'*Algérien*.

Pour ce qui est d'une explosion de réservoir à air comprimé, et par suite d'une rupture accidentelle du récipient ou par fissure de malfaçon, il est évident qu'à bord d'un navire ordinaire il n'y aurait pas d'avaries sérieuses. Il n'en va pas de même à bord d'un sous-marin ou submersible où des perturbations fort graves peuvent en résulter.

Chapitre III

Des dangers des pressions hydrauliques.

En cas de naufrage consécutif à un accident quelconque, le péril qui se présente aussitôt pour le sous-marin qui coule par les grands fonds est l'écrasement, la disjonction de la coque sous la pression d'eau, si le bateau n'est pas construit pour pouvoir résister à la pression hydraulique sous-marine maxima des plus grandes profondeurs des mers qu'il fréquente, et c'est la généralité, car, sans cela, le rayon d'action des sous-marins deviendrait nul. On ne peut guère, en effet, avec ces bateaux, adopter des épaisseurs de tôles devant résister à des pressions égales à des colonnes d'eau de plus de 100 m et par centimètre carré. Ce serait de l'aberration!

Il faut remarquer, d'autre part, dans l'étude qui nous occupe, qu'il est des limites de profondeurs auxquelles peuvent atteindre

les scaphandriers, ainsi qu'il est expliqué plus loin. J'estime que, dès l'instant où le scaphandrier a atteint cette limite maximum et que — comme il est nécessaire dans la pratique. pour opérer convenablement des recherches, des manœuvres, ou exécuter un renflouage avec l'aide, toujours excellente sinon la meilleure, des scaphandriers, que ces plongeurs puissent encore avoir assez de liberté de mouvements *pour se servir utilement de leurs bras et de leurs mains* — il ressort, dans ces conditions d'interventions, que le sous-marin ne peut être considéré comme sauvetable que si, en sombrant, il n'a pas dépassé en profondeur la limite d'accès aux scaphandriers nantis de vêtements souples et casques actuels. Les récentes inventions de lourds costumes produites jusqu'à ce jour, et qui ont la prétention de donner accès aux plongeurs revêtus d'un nouvel habit ou d'une nouvelle gaine leur permettant, soi-disant, de dépasser les limites ordinairement atteintes présentement en profondeur avec les excellents appareils Rouquayrol-Denayrouse, ou Siebe Gorman, ou Heinke, etc., *ne permettent réellement aucun mouvement sérieux à l'homme emprisonné dans ces carapaces pesantes avec lesquelles* il est absolument impossible notamment de circuler dans une épave et de pénétrer dans les coursives, cabines, soutes, compartiments, etc.

Dans cet ordre d'idées il n'y a guère que l'appareil Buchanan-Gordon qui soit admissible, et encore il offre de sérieux inconvénients quand il s'agit de pénétrer à l'intérieur d'un navire coulé et donnant à la bande ainsi que cela se présente dans la plupart des naufrages !

On peut admettre que la pression hydraulique sur la coque du sous-marin coulé est en moyenne de 1 kg par 10 m d'eau et par centimètre carré de surface. En fait, la profondeur d'immersion de combat et de manœuvres des sous-marins des types généraux à flot présentement est en moyenne de 15 m. Le coefficient de sécurité de résistance des tôles à la pression maximum d'immersion est calculé sur 30 m. Si donc le bateau naufrage et coule sur un fond dépassant 30 m, il y a de nombreuses chances pour que l'écrasement craint se manifeste ± fort. Supposons que les coques aient été construites pour résister à des pressions maxima de 40 m, ce serait déjà énorme et, pratiquement, cela ne saurait être sans augmentation désavantageuse du poids de la carène et d'autres considérations de construction sur lesquelles il est inutile de m'étendre dans cette modeste note. Dans la pratique courante, on est en droit de dire qu'au delà de 40 m au

grand maximum, on ne peut plus compter sur les résistances de la carène ni sur ses formes cylindro-coniques qui augmentent cependant encore ladite résistance grâce à cet heureux choix de cette figure géométrique. En effet, pour pouvoir résister à des pressions de ± 5 kg par centimètre carré de surface, on conçoit aisément combien l'épaisseur des tôles et des membrures doit croître.

Mais, si les sous-marins ne devaient pas naviguer ailleurs que sur des fonds ne dépassant pas 40 m, il est évident, ainsi que je l'observais tout à l'heure, que leur rayon d'action tendrait vers la nullité. Il n'y aurait plus qu'à laisser remiser dans les arsenaux cette magnifique arme de combat qu'est le sous-marin !

Ceci posé, examinons, pour renseignement, quelle est la profondeur maxima que peuvent atteindre des scaphandriers entraînés et robustes, munis du scaphandre Rouquayrol-Denayrouse et Ch. Petit.

Notons d'abord que, pour qu'un homme puisse demeurer plusieurs heures de suite dans l'eau, sans risque de compromission pour sa vie, ou sans malaise, il importe qu'il ait la facilité absolue de respirer aisément, et qu'ensuite la pression de l'air qu'il respire puisse varier mathématiquement et proportionnellement à la hauteur de la colonne d'eau qui pèse sur cet homme. Immergé dans l'air ambiant, à la surface de la mer, un homme de taille ordinaire supporte une pression totale (calcul fait) de 16.000 kg par le poids de la colonne atmosphérique le pressant sur toute la surface de son corps. Comme cette énorme pression est correspondante à l'intérieur du corps par l'entrée de ce même air dans les poumons, etc., il y a donc équilibre et nous ne nous apercevons pas du port de ce poids représentant le chargement d'un wagon et demi circulant sur nos voies ferrées ! On sait qu'à une profondeur d'eau de 10 m la pression croît de 1 kg. Donc un individu immergé sous 10 m d'eau supporte outre les 16.000 kg de la pression atmosphérique une nouvelle pression extérieure, hydraulique celle-là, qui s'ajoute. Ce qui fait 32.000 kg ! Si le plongeur descend à 20 m sous l'eau, il aura à supporter 48.000 kg de pression extérieure. S'il parvient à 30 m, il supportera 64.000 kg répartis sur toute la surface de son corps immergé dans le liquide. A 40 m, la pression externe sera de 80.000 kg. A 50 m ce sera 96.000 kg et à 60 m 112.000 kg ! Nous verrons que des scaphandriers turcs descendent à 60 m. Je me hâte d'ajouter que cette exception est rare.

Mais, dans l'eau, en raison de la différence de densité de ce liquide avec l'air et de la conformation spéciale des organes de la respiration qui ne peuvent admettre que de l'air, on comprendra qu'il y aura rupture d'équilibre entre la pression externe et la pression interne, et que la poitrine de l'infortuné plongeur sera écrasée par la pression liquide extérieure.

Il a donc fallu rechercher une méthode pour envoyer au plongeur de l'air de plus en plus comprimé à l'effet d'équilibrer la pression du liquide extérieur au fur et à mesure que le plongeur gagnera des couches d'eau plus profondes. Toutefois il fallait, en même temps, régler l'admission d'air, afin que la compression de cet air, à l'intérieur des poumons, ne dépassât pas, d'autre part, la pression du liquide, sous peine d'amener des déchirements ou des ruptures des organes et des parois de la poitrine (si l'air est comprimé plus qu'il ne faut) pour équilibrer la pression liquide.

Des expériences auxquelles je me suis livré, des notes prises sur de nombreux chantiers sous-marins, des statistiques des plongées extraordinaires, il ressort que le travail des scaphandriers s'exécute *en moyenne* à des limites qui ne dépassent pas 35 m soit sous une pression de 4,5 kg par centimètre carré.

Étant donnés les phénomènes perturbateurs de la compression et surtout de la décompression des organes vitaux, cette profondeur doit être déjà considérée comme susceptible de dangers. Sous 20 m d'eau, les plongées n'offrent pas les mêmes inconvénients si l'on prend toutefois des précautions.

J'ai admis pour les scaphandriers, exceptionnellement doués, le travail à la profondeur maxima de 51 m.

Le scaphandrier Erostarbe a plongé à 58 m environ, en avril 1891, pour extraire des lingots d'argent qui se trouvaient à bord du *Skyro* coulé au Cap Finistère, et le scaphandrier Lambert est descendu à peu près à cette même profondeur à bord de l'*Alphonse XII*, coulé à la Grande Canarie, ainsi que le notent MM. Siebe Gorman et Cie dans leur fascicule explicatif.

Les plongeurs ottomans sur les côtes de Caramanie descendent a[illegible]ai indiqué dans ce qui précède, jusqu'à 60 m. Pour une pareille plongée, on comprend que les poids ordinaires du scaphandre Rouquayrol-Denayrouse seraient insuffisants ; aussi ces pêcheurs spéciaux se fabriquent-ils une ceinture particulière qu'ils adjoignent à leur costume de scaphandrier et à laquelle ils accrochent une certaine quantité de lames de plomb. Cette

ceinture est retenue à une ligne qui se déroule du bateau au fur et à mesure de la descente du plongeur laquelle se fait beaucoup trop vite. Une fois le travail terminé au fond, les éponges étant recueillies, le scaphandrier se débarrasse de sa ceinture et remonte. La ceinture et les poids qui y sont fixés sont halés par les gens du bateau. *Cette manœuvre pourrait être utile pour aider à plonger à l'effet d'atteindre un sous-marin coulé sous une profondeur semblable.*

Ces records extraordinaires pour des êtres humains non protégés autrement qu'avec le scaphandre habituel sont pleins de périls et ne peuvent être tentés que par des spécialistes ayant une force physique et une puissance respiratoire remarquables et une endurance peu commune.

De l'exposé qui précède, on doit conclure que, pratiquement (et c'est toujours à ce point de vue qu'il faut se placer dans ces sortes d'opérations sous-marines) avec l'appareil ordinaire moderne, les scaphandriers ne peuvent atteindre un sous-marin ou un sumersible coulés, et y travailler *avec succès*, que si le navire repose sur un fond situé à 40 m de la surface de la mer. Il convient quand on immerge ces travailleurs, dans de pareilles circonstances, de tenir particulièrement grand compte des amplitudes de la marée lors du flot.

Donc, au delà de 40 m les procédés mécaniques de passage d'élingues par dragage au moyen de bateaux en retenant les deux bouts libres à la surface et courant des bordées jusqu'à ce que l'élingue glisse sous la coque à soulever, etc., peuvent être seuls utilisés. Je reviendrai plus loin sur les méthodes mécaniques qui sont toujours assez aléatoires et imprécises tant qu'on n'a pu crocher sérieusement l'épave. Rien ne vaut l'intervention de l'homme-scaphandrier ayant la liberté de ses mouvements, surtout de ses bras et de ses mains.

Chapitre IV

Étude de méthodes plausibles pour tentatives de sauvetage du personnel.

Quand le sous-marin ou submersible sombre, il est absolu que la première préoccupation des sauveteurs est de chercher à joindre et délivrer sans aucun retard l'équipage emprisonne sous

l'eau à des profondeurs variables mais cependant encore accessibles aux scaphandriers.

Beaucoup d'inventeurs nationaux et étrangers ont présenté des quantités de propositions à ce sujet. Tout en prenant en grande considération ces projets, en raison de l'excellence du but humanitaire auquel tous tendent, il n'apparait pas, *a priori*, qu'il y en ait de suffisamment pratiques pour s'y arrêter de préférence. En Amérique, en Angleterre et en Allemagne où cette importante question du secours aux sous-marins coulés et à leur retirement éventuel est à l'ordre permanent du jour, je n'ai pas vu que certaines applications aient donné les résultats espérés. Ce qui est parfait pour un cas considéré devient mauvais pour un autre cas qui peut précéder ou être consécutif immédiatement à une situation modifiable pour tel type de bateau et sa position d'échouage, etc. Il convient, cependant, que la recherche des méthodes en question ne vise que les accidents raisonnables qui peuvent survenir. En principe, il est dans le domaine des choses possibles de concevoir un dispositif, un procédé *ad hoc* pour le sauvetage, et en ce qui concerne des cas d'accidents particuliers, mais il n'est guère possible de préconiser *ne varietur* des procédés généraux de sauvetage pour tous les accidents ou catastrophes pouvant se présenter.

Il importe, avant tout, que les gabarits, les formes de carène des sous-marins et submersibles, les moyens offensifs et défensifs de ces navires spéciaux destinés effectivement à un rôle de combat, ne puissent être affectés, déformés, diminués ou annihilés par l'adoption ou l'adjonction de protubérances d'apparaux ou agrés constituant ces dispositions idoines au sauvetage du personnel, voire même de la coque.

En m'inspirant de ces restrictions, je vais essayer d'étudier ce problème ardu et sans avoir la prétention de le solutionner *ipso facto !* Encore faudra-t-il me placer dans les conditions les plus favorables que peut présenter pareille catastrophe et en m'excusant de me servir du qualificatif « favorable » en pareille occurrence sinistre.

A. — Du sas a air et de la chambre a plonger.

Pour ce qui est de la préservation des vies humaines, il y a presque unanimité parmi les professionnels et les techniciens à

préconiser, comme moyen le meilleur, dans certaines circonstances, l'adoption d'un sas à air ou d'une chambre à plonger. Résumé, ce procédé consiste à doter le sous-marin d'un ou plusieurs panneaux ou trous d'homme, dont les plateaux externes épousent absolument les formes de carène et continuent les parois des virures. Ces ouvertures, articulées suivant les systèmes connus, sont naturellement construites étanches et prennent issues à bâbord et à tribord latéralement, en dessous des tôles de galbord, mais non près de la quille ou de la carlingue. Il y a, en effet, quatre-vingt-cinq chances pour cent que le sous-marin coulé, même après avoir largué en sombrant ses poids de sécurité, repose sur son fond de carène et que cette position paralyse les secours des ouvertures précitées, si elles étaient situées sous ou près de la carlingue. Il y aurait intérêt à pratiquer au moins deux de ces ouvertures, dont une à bâbord et une à tribord, pour le cas probable où le bateau coulé, donnant aussi à la bande, condamne par cela même l'une de ces ouvertures. Elles auraient 0,75 $\times$ 0,60 m et traverseraient, par un tubage de dimensions, les water-ballasts de la double coque et seraient situées toutes deux dans le même compartiment et sous le parquet découpé, amovible aisément à cet endroit. Le compartiment choisi pour l'installation de ces deux portes de secours serait compris vers les deux tiers AV du bateau. On éviterait, si possible, de laisser ces portes de secours dominées par les tablettes de support des accumulateurs, et, ce qui serait beaucoup mieux, on choisirait de préférence un compartiment dépourvu de batteries d'accumulateurs. Ces portes s'ouvriraient de dedans au dehors, et, au moyen d'un écrou à violon, manœuvrable ainsi à la main, retenant une tige rivée au panneau et prenant appui sur une chaise *ad hoc*, on pourrait, en desserrant, libérer l'écrou et obtenir aussi la libération totale du plateau de panneau, qui tomberait à l'extérieur. Un réservoir d'air comprimé, rempli en permanence à $n + 7$ kg, correspondant à la pression sous-marine des fonds ne dépassant pas 60 m, est installé dans le compartiment où sont les deux portes de secours.

D'ailleurs, la plupart des navires sous-marins ou submersibles ayant des réservoirs d'air comprimé servant à la recharge des torpilles, on peut installer une canalisation avec ces réservoirs et s'en servir ici.

Le sous-marin coule. Si la chance « favorable » (!!!) dont je parlais fait que ce soit par 40 m, comme le *Lutin* de dramatique

mémoire, l'équipage groupé, serré, gagne au plus vite et le mieux qu'il peut le compartiment précité. On ferme les portes normales des cloisons étanches et on ouvre le réservoir d'air. Puis, suivant le gîte du navire, on procède à l'ouverture de la porte de secours qui se présente la plus commode à franchir, étant donnée la position d'échouage du bâtiment, et qu'on est en droit de penser devoir être la porte du bord le plus élevé. Avant d'ouvrir, on peut frapper avec un instrument en fer contre la paroi : si celle-ci rend un son clair, il est probable qu'elle ne touche pas le fond sur lequel est échoué le sous-marin et qu'il y a espoir de pouvoir passer sous la coque. L'ouverture de la porte est progressive et assez minime au début pour permettre de refermer de suite si l'on constate une rentrée d'eau appréciable. Cette rentrée d'eau n'étant pas anormale et la pression d'air équilibrant la pression hydraulique, on dégage le panneau-tampon, ou plateau, qui tombe au dehors. Entre temps, les hommes ont capelé des petites ceintures en toile perméable remplies de cellulose. Puis successivement, les hommes, après une aspiration d'air la plus large qu'ils pourront, plongeront par l'orifice béant dans la mer. En admettant le bateau coulé ainsi que je l'ai indiqué, par 40 m de fond, les hommes peuvent encore prétendre, sous de gros risques divers dont le plus sérieux est la décompression trop rapide en s'élevant vers la surface des flots, espérer ascensionner vite et être recueillis. Les bons nageurs et surtout les bons plongeurs à nu seront favorisés. Il ne faut pas perdre de vue que, néanmoins, l'action de remonter en quinze ou vingt secondes d'un fond de 40 m, en sortant de la chambre à air où il existait une compression de $n + 5$ à 6 kg, peut amener des désordres dans l'organisme.

Les pêcheurs à nu sur les bancs de pintadines perlières, qui se laissent couler le pied engagé dans un étrier en corde supportant une pierre taillée en pain de sucre, se bouchent préalablement les oreilles et les narines avec de la cire molle. Ils ne dépassent guère 20 m en moyenne et demeurent immergés trente secondes au plus, tout compris. Ils remontent en larguant l'étrier et en donnant un vigoureux coup de talon, après qu'ils ont arraché quelques huitres, qu'ils placent dans un filet grossier. La pierre est ramenée avec une ligne par les gens du bateau. Je dois à la vérité de dire que ces plongeurs à nu périssent jeunes. C'est néanmoins un exemple de remonte à nu par des profondeurs déjà respectables. Mais il est certain que, dans les tragiques

moments décrits, on doit affronter les pires éventualités pour tenter de sauver sa vie.

On objectera que, lorsque les hommes du sous-marin coulé passeront du sas d'air comprimé dans les couches inférieures d'eau profonde de 40 m, la pression équilibrée qu'ils subissaient dans cet air comprimé sera rompue et qu'ils auront à subir la pression déséquilibrée, parce que seulement extérieure, de 5 kg par centimètre carré de la surface de leur corps immergé dans le liquide, d'où dangers de compression de la cage thoracique, suffocation, syncope menant à l'asphyxie rapide. Oui et non, cela dépendra de la robustesse des sujets.

La saturation organique à forte pression de l'air du sas peut être considérée comme diminuant assez sensiblement les tendances fondrières de l'homme quand celui-ci passera dans le liquide et favoriser à cet instant d'entrée dans la mer l'ascension accélérée du naufragé vers la surface où l'entraîne déjà avec vigueur la cellulose se gonflant dans le tissu perméable de la ceinture, au contact de l'eau.

On peut remplacer ces ceintures garnies de cellulose par des ceintures caoutchoutées gonflées à l'air comprimé du sas et qui auront le même effet, si elles ne crèvent pas au moment opportun.

L'objection sera présentée que si le navire, ayant largué son poids de sécurité, capote en sombrant et se retourne la quille en haut, les orifices des portes de secours se trouveront en dessus et la manœuvre de sauvetage du personnel sera compromise, car il est constant que, si les naufragés ouvraient ces portes dans cette position de chavirement et après avoir admis l'air comprimé dans leur compartiment de refuge ou sas à air, cet air formant bulle s'échapperait avec vitesse vers la surface de la mer, la cloche à plongeur, en laquelle on transforme le navire sombré, se trouvant retournée en fâcheuse position.

Oh ! certes, cette position de chavirement serait tout à fait néfaste, mais, ainsi que je l'ai déjà dit, on ne peut en préconisant quelques moyens de sauvetage qu'augmenter les chances de ce sauvetage sans pouvoir les compléter pour répondre à tous les événements et accidents susceptibles de se produire en navigation sous-marine, qui est une navigation périlleuse toute spéciale.

Il ne faut pas perdre de vue non plus que les impedimenta de

sauvetage, si on les adjoignait en quantités, troubleraient la destination de service du sous-marin et son but militaire.

A vrai dire, même si le bateau chaviré était quille en haut, je n'hésiterais pas à remplir d'air comprimé le compartiment ou sas à air et à enlever ensuite, mais avec la plus grande promptitude, le ou les panneaux des portes de secours, en ayant soin de me coller le plus possible, tête première, contre leur orifice, afin de bénéficier de la chasse énorme d'air et de l'entraînement au dehors, comme aussi de la traction vers le zénith accusée par l'immense bulle d'air remontant avec une grande énergie vers la surface de l'Océan.

Qu'on se souvienne de la catastrophe du *Farfadet* : on n'oubliera pas que le commandant et deux hommes de l'équipage n'ont dû leur salut qu'à la projection de leur corps hors du capot du kiosque, demeuré ouvert lorsque l'air intérieur, à la pression normale cependant, s'est échappé déjà avec force du fait de son refoulement par l'intrusion d'eau pénétrant par ce même capot non clos, le sous-marin embarquant.

Qu'on se souvienne qu'on a trouvé le commandant du *Lutin* et plusieurs de ses hommes dévêtus, enlacés en chaîne humaine pour s'échapper, près du capot du kiosque qu'ils avaient entr'-ouvert, mais, hélas ! pas assez pour le passage de ces corps : le temps ayant manqué et peut-être la pression des eaux profondes ayant été une cause retardatrice et perturbatrice dans le levage du capot.

Ces deux exemples montrent suffisamment qu'une tentative ultime de sauvetage de ce genre mérite d'être exécutée si besoin.

B. — Des dangers complémentaires de la pagaille.

On objectera aussi que l'emploi des portes de secours, le bateau ayant coulé droit sur quille ou à peu près, est subordonné à la conservation de la lumière à l'intérieur. Je répondrai que les hommes au poste de combat qu'ils occupent sont très bien instruits et des marins d'élite. Ils ont une telle habitude des engins placés sous leurs mains que, dans l'obscurité, ils seraient à même de lever le parquet, d'ouvrir le ou les robinets d'arrivée d'air comprimé et de dévisser les écrous de serrage des panneaux des portes de secours. Je parlerai plus loin des moyens propres à conserver au sous-marin coulé la lumière utile.

On s'est plaint de ce que le *Lutin* avait été long à retrouver. L'agonie de l'équipage de braves que renfermait ce sous-marin a été courte. L'horloge du compartiment arrière était arrêtée à 10 h. 32 m. et celle du compartiment avant avait perdu sa grande aiguille, mais la petite aiguille arrêtée avant 11 heures pouvait indiquer, par comparaison, 11 heures moins 10 minutes environ. Comme ces arrêts des horloges désignent absolument l'instant précis de la montée de l'eau dans ces compartiments, il semblerait que l'agonie de l'équipage n'a pas dû excéder 10 à 15 minutes. Quoi qu'il en soit, il n'en est pas moins sûr que, si les naufragés du *Lutin* avaient vécu quarante-huit heures après le sinistre, dans leur prison métallique, comme les naufragés du *Farfadet*, ils étaient quand même condamnés, puisque le renflouage a duré plusieurs jours.

Il est une considération grave dans le cas où le navire, en sombrant, s'apique comme dans l'accident du *Farfadet*, ou chavire en grand en coulant : c'est celle des dangers complémentaires provenant de la pagaille des objets du bord, de leur chute pour ceux non saisis ou arrachés par le choc, du bouleversement intérieur, de l'épandage de liquides excitateurs très caustiques des bacs des accumulateurs, des brûlures qu'ils produisent sur les hommes jetés bas, des émanations délétères et caustiques qui se dégagent des explosions qui surviennent, etc. Ces liquides, saturés plus ou moins d'acide sulfurique, ont déterminé l'écorchure à vif de l'épiderme des naufragés roulés dans ces flaques rongeantes : le spectacle des cadavres extraits du *Farfadet* semblables à des ébouillantés était affreux ! Que faire ? On ne peut clore étanches les bacs des accumulateurs sous peine d'explosion, etc.

Forcément, nombre d'objets ne peuvent, à bord, être fixés invariablement à poste. On ne peut que les contretenir, les saisir, les arrimer au mieux, et de ce nombre sont les éléments et les bacs des accumulateurs.

Bref, ce danger de la pagaille sous certaines positions d'échouage du sous-marin n'est guère possible à éviter. On l'atténuera en multipliant les précautions d'arrimage, mais les aléas en resteront toujours redoutables, à moins de pouvoir supprimer plus tard les accumulateurs et de trouver un procédé autre de production et de conservation de l'énergie électrique. Je le souhaite.

C. — Du canot de sauvetage.

Le sous-marin de l'amiral Bourgeois et de l'Ingénieur Brun, construit en 1863, possédait une embarcation de sauvetage sur l'avant; vers le milieu de la longueur, l'épine dorsale du bateau était aplatie pour recevoir une embarcation de sauvetage à fond plat qui venait se superposer à la coque et s'y fixer par des boulons.

Ce canot avait 8 m de longueur, 1,70 m de largeur et 1,10 m de creux. Il était muni, a ses extrémités, de coffres à air qui déterminaient son ascension et le rendaient insubmersible. Deux trous d'homme faisaient communiquer l'intérieur du sous-marin qui s'appelait *le Plongeur*, avec l'embarcation. Celle-ci pouvait être détachée aussitôt que l'équipage du *Plongeur*, composé de douze hommes, s'y était réfugié.

En principe, je suis absolument partisan de l'adjonction d'un canot de sauvetage de ce genre pour les sous-marins et submersibles, et il n'existe aucune difficulté d'exécution pour loger cette embarcation dans une alvéole supérieure, sise dans la coque, sans qu'il y ait aucune aspérité perturbatrice des profils du gabarit.

On prévoira un lest d'eau en conséquence, pour ne pas troubler la stabilité du sous-marin.

On pourra objecter que, si l'adjonction de ce canot augmente, dans une certaine mesure, la flottabilité du sous-marin, par contre, dans le combat, un projectile crevant l'embarcation, il en résultera une rupture d'équilibre assez notable qui serait néfaste pour le sous-marin.

On peut répondre que la vidange opportune du water-ballast correspondant à cette différence prévue ferait rentrer le sous-marin dans les conditions normales.

Si l'on maintenait l'objection probable, et quoi que j'en dise, que le canot formera une protubérance nuisible à la marche du sous-marin, cette nocuité n'est qu'apparente, puisque le kiosque est de beaucoup plus élevé et dépasse bien autrement les formes de carène du navire.

Je concéderai que, comme pour le temps de guerre les considérations humanitaires ne priment point, on aura donc la faculté, si on le juge utile, de débarquer le canot avant le branle-bas de combat ou avant la plongée du sous-marin, et un dispositif de

boulons serait prévu pour opérer la libération du canot en procédant de l'intérieur du sous-marin qui s'équilibrerait ensuite, en conséquence, par ses water-ballasts.

Il est facile, en déterminant le profil de l'alvéole dans laquelle s'inscrirait l'embarcation sur la coque du sous-marin, d'éviter que ce profil soit accusé afin que, l'embarcation une fois enlevée, le navire conserve néanmoins les lignes d'eau arrêtées pour la vitesse prévue. Il est à noter, et c'est une remarque favorable que, d'ailleurs, les sous-marins ont déjà la coque aplatie légèrement à l'endroit où on établirait le poste du canot.

Les dimensions du canot sont naturellement proportionnelles au nombre d'hommes qu'il portera, plus une réserve de flottabilité favorisant l'ascension, et, ultérieurement, la navigation à la surface.

L'embarcation sera édifiée en tôles permettant une résistance à la pression, égale à celle subie par les tôles de la coque extérieure du sous-marin, en limite de plongée extrême.

A l'étranger on y vient. On a adopté la forme à peu près cylindrique. On calcule 1 1/2 square f^t pour chaque homme, ce qui, pour un équipage de 11 hommes, donne 16 1/2 square f^t. L'épaisseur des parois est d'un quart inch. Le cylindre légèrement aplati, en tôle, a 6 pieds de diamètre, et environ 18 pieds de longueur, ce qui lui donne une certaine flottabilité, capable de lui permettre d'ascensionner avec les hommes à bord. On y pénètre de même façon que pour le canot de l'ancien sous-marin *Plongeur*. Ce cylindre se loge dans une alvéole réservée sur la partie haute de la coque du sous-marin, et sa grande section formant dôme termine la coque du navire qui le supporte. Il est mieux de le placer à l'arrière du kiosque.

Les catégories ou séries des sous-marins ou submersibles achevés récemment ou en construction sont d'un tonnage suffisamment puissant pour comporter une embarcation de sauvetage du genre de celle préconisée. La stabilité du sous-marin ne peut être compromise, dès l'instant où le système de boulons, de verrous, ou d'arrimage reliant le canot à la coque est convenablement choisi, et il existe une certaine variété de dispositifs tous meilleurs les uns que les autres, dont la description serait fastidieuse ici. De même pour les systèmes de trous d'homme ou capots ouverts pour les communications entre la coque principale et le canot à poste. Le capot spécial du sous-marin, en ce qui concerne cette appropriation, s'ouvre du de-

dans (1) et s'y rabat. Celui correspondant du canot s'ouvre du dehors et se rabat en dedans de l'embarcation. Un joint étanche est interposé entre les bords respectifs de ces ouvertures sur lesquels il s'appuie à force par l'intermédiaire de boulons-tirants. J'estime que rien n'est plus facile que d'obtenir par le déplacement même du lest humain qu'il renferme, que le cylindre, une fois à la surface, puisse être retourné, l'ouverture du panneau en dessus. Par une simple disposition de lest fixe on obtiendrait aisément que le cânot, une fois les hommes enfermés et les boulons d'attache largués, fasse un demi-tour sur son axe longitudinal, de manière à arriver à la surface de la mer, dans la position de navigation ordinaire, et le capot au-dessus. On ouvrirait ce panneau, on materait un espars, on y fixerait une petite voile et on borderait une paire d'avirons armés de tolets qui s'implanteraient dans deux pattes perforées placées de chaque bord et une autre à la poupe pour gouverner ou godiller et dont le canot serait pourvu.

Outre qu'il est nécessaire que les hommes qui seront renfermés dans ce cylindre puissent respirer dès leur arrivée à la surface de la mer, il convient d'envisager la nécessité d'une direction momentanée de l'embarcation. On satisfera à ces deux conditions par la manœuvre de retournement dont je viens de parler, si cette manœuvre n'est pas automatique, et qui éviterait la prévision d'un autre panneau de pont, si l'embarcation n'était pas susceptible de changer d'assiette, ainsi que je préconise.

Quel que soit le modèle d'embarcation de sauvetage adopté, cette adoption s'impose, car elle procurera un excellent moyen de plus à la disposition de l'équipage pour échapper surtout si, en cas d'avaries de carène, l'air contenu dans le navire est demeuré ou que l'eau, pour cette raison, n'a pu monter qu'à une certaine hauteur à l'intérieur, laissant libre d'accès le haut de la coursive pour atteindre au canot.

On objectera que, si le compartiment au-dessus duquel sera le capot de communication avec le canot est envahi totalement par la mer, on ne pourra utiliser l'embarcation. Évidemment, c'est une chance à courir, mais avec ce raisonnement il y aurait lieu de ne s'occuper d'aucune mesure de sauvetage ou de préservation.

(1) L'ouverture en dedans est défectueuse en principe. On peut prévoir, de préférence, une trappe à glissement, sorte de vanne horizontale étanche.

N'existerait-il qu'une chance sur vingt, que l'adoption d'un canot permît de préserver un équipage, qu'il y aurait lieu de se munir de cette embarcation, la stabilité et la destination du sous-marin n'étant nullement compromises de ce chef.

D. — Dispositif d'éclairage de circonstance. — Écoutes.

On a eu quelques mécomptes avec certains engins détachables, flottants, reliés avec le bateau coulé, et portant un poste téléphonique placé dans un récipient étanche, facile à ouvrir quand il apparaît à la surface de l'eau. Ce procédé de communication, tout ingénieux qu'il soit, semble n'avoir pas procuré les indications, même de balisage, qu'on eût pu en attendre; il ne faut pas les condamner, mais les perfectionner, car il importe cependant que le sous-marin coulé soit signalé à la surface de la mer, et aussitôt après l'accident. Je préconiserai des bouées (ou flotteurs) au nombre de deux disposées au tiers avant et au tiers arrière, suivant l'axe longitudinal du navire et reliées par un câble de 100 m de longueur à la carène du bateau. Ce câble souple contiendra deux âmes métalliques étanches et serait relié à un système de fanaux électriques complémentaires au jeu d'appareils de l'éclairage du navire.

Chacun de ces fanaux de secours occupera un compartiment. L'ampoule à incandescence sera renfermée dans un globe en cristal étanche permettant l'incandescence même si ce globe est immergé extérieurement. Deux commutateurs garnissent les bouées qu'on pourra relier ainsi au courant électrique du navire de secours envoyé sur les lieux du sinistre et qui aura la facilité, grâce à ces mêmes bouées-balises, de repérer sans retard l'emplacement où gît le sous-marin sinistré.

Ce système de transmission du courant électrique par le navire sauveteur nécessiterait une canalisation parfaitement étanche elle-même à bord du sous-marin. Toutefois, l'état de la mer peut contrarier, dans certaines périodes de mauvais temps, le raccord des câbles pour la transmission du courant électrique et même forcer le navire sauveteur de se séparer momentanément des bouées que, dans ces conditions néfastes, il vaudra mieux se contenter de veiller.

La lumière rétablie permettrait, s'il reste des survivants à bord, et que l'habitabilité du sous-marin soit encore praticable,

de procéder déjà mieux à l'utilisation des moyens accessibles de sauvetage pour les hommes enfermés.

Si les fonds sont susceptibles d'être atteints pour un travail utile par les scaphandriers, ces ouvriers amenés à bord du bâtiment sauveteur, et l'état de la mer le permettant, descendent aussitôt pour explorer l'épave. Ils peuvent parfaitement savoir, en frappant avec un marteau ou une pince en métal sur la carène, s'il existe des hommes vivants et ceux-ci s'empressent de répondre par le même procédé, en admettant que les appareils téléphoniques des bouées spéciales n'aient pu fournir les renseignements verbaux attendus.

Les chocs sur les tôles amènent nécessairement les scaphandriers au point précis du compartiment où sont réfugiés les naufragés. Pour bien saisir ces sons vibratoires il suffit, ainsi que je le conseille à mes scaphandriers, de coller leur casque sur la paroi de la coque métallique en fond et d'écouter. Il n'y a aucune erreur à commettre. On sait aussi que, si deux scaphandriers veulent se parler sous l'eau, il leur suffit de faire toucher leurs casques réciproques et de diminuer pendant quelques secondes l'échappement d'air de la soupape pariétale du casque. Ils s'entendent très bien.

Certains inventeurs ont imaginé de garnir le casque des scaphandriers d'un raccord ou tube se vissant sur la partie inférieure de ce casque et de l'autre sur des raccords extérieurs disposés sur tous les compartiments étanches du sous-marin. S'il se trouve des survivants dans ces compartiments, le scaphandrier entrerait ainsi en communication verbale avec eux. Ce procédé me paraît dangereux, en ce sens qu'il immobilise le scaphandrier et que, d'autre part, des gaz délétères ou caustiques peuvent, dans certaines circonstances, s'introduire dans le casque du scaphandrier et, en dépit du courant d'air pur respiratoire qui est envoyé au plongeur, l'incommoder gravement, voire même l'asphyxier sans profit.

CHAPITRE V

Étude de quelques procédés pour le renflouage des sous-marins.

EMPLOI DE L'AIR COMPRIMÉ.

Des expériences faites, et des études qui viennent d'être exposées dans ce qui précède, je conclus que, *présentement*, le succès réel d'une opération de renflouage d'un sous-marin est fonction de la limite de profondeur d'accès aux scaphandriers.

A priori, on peut préconiser pour les sous-marins et submersibles :

1° Un dispositif complémentaire obturateur placé au-dessous du panneau du kiosque et permettant, au moyen d'une vanne ou de tout autre appareil similaire, de clore cet orifice pour le cas où le capot ne pourrait être manœuvré ; ce système additionnel d'occlusion devrait pouvoir être mis en action : par le dedans afin que l'équipage puisse l'utiliser au besoin, et par le dehors afin d'être manœuvré par les scaphandriers ;

2° Au droit de chaque compartiment étanche et de chaque bord, deux tubes, en cuivre, traversant les virures de ou des coques, arasés, obturés au dehors par un tampon à vis affleurant presque la paroi, mais possédant une tête plate à pans coupés et d'assez faible épaisseur de relief permettant néanmoins d'être inscrite entre les mâchoires d'une clef anglaise dont se muniraient les scaphandriers. La position de ces tubes intercalés entre deux membrures serait : pour l'un, à un point haut de la coursive, pour l'autre, à un point bas du compartiment au droit et un peu au-dessous du parquet.

Les dimensions de ces tubes seraient :

(*a*) Tube haut : 15 mm de diamètre correspondant à celui des raccords des tuyaux des scaphandriers et utilisés ainsi pour compresseurs à air des appareils de plonge pouvant comprimer jusqu'à 15 kg ou tout autre modèle de compresseur d'air choisi ;

(*b*) Tube bas : diamètre $n + 7$ cm avec clapets s'ouvrant de dedans en dehors, ou, ce qui serait peut-être mieux, avec soupapes automatiques pour déjaugeage d'eau ;

3° D'un dispositif de manœuvre permettant aux scaphandriers de pouvoir larguer, du dehors, les poids de sécurité;

4° De bouées-balises (dont il a été parlé) libérables de l'intérieur du bateau, comme aussi libérables automatiquement si le bateau dépasse *n* + 20 m en plongée;

5° D'un avertisseur chimique composé d'un petit récipient métallique étanche, divisé en deux cases étanches elles-mêmes, placé en un point AR du kiosque, à l'extérieur, et contenant d'une part, une composition d'aniline rouge, et, d'autre part, un bloc de 10 kg de phosphure de calcium. Ces cases sont garnies de deux opercules en clinquant susceptibles de crever sous la pression d'une colonne d'eau de 20 m.

Supposons que le sous-marin, muni de ces impedimenta qui ne peuvent nuire ni à ses qualités nautiques ni à ses qualités militaires, coule accidentellement ou bien, dépassant une plongée normale, s'échoue par des profondeurs d'environ 40 m, mais sans avarie de carène. Que se passe-t-il?

1° Les bouées-balises se détachant, ou détachées, ou filant leurs câbles, décèlent le gisement du sous-marin. Le navire sauveteur envoyé aux recherches prend contact avec ces bouées, rétablit l'éclairage et communique avec l'équipage naufragé;

2° Si les bouées-balises ne sont pas détachées, cu n'apparaissent pas pour une cause fâcheuse quelconque, il arrivera que, comme le sous-marin aura franchi la limite de pression que peuvent supporter les opercules de clinquant de l'avertisseur chimique, aussitôt une coloration rubescente intense s'étendra sur les flots à l'aplomb de l'épave (ou dans un rayon très peu étendu de son point de gisement s'il y a du courant) et en même temps que des flammes crépitantes viendront surnager décelant ainsi pendant plus d'une heure la présence en ce lieu du sous-marin sombré;

3° L'emplacement du sous-marin naufragé étant déterminé ainsi rapidement, les scaphandriers amenés à bord du navire sauveteur, branchent sur le collecteur du compresseur d'air un nombre de tuyaux égal à celui des compartiments du sous-marin considéré, et descendent en amenant à eux les bouts libres de ces tuyaux. Arrivés au fond, les scaphandriers ferment, du dehors, le panneau spécial du kiosque s'il ne l'est déjà du dedans par les soins même de l'équipage du sous-marin coulé; puis, les plongeurs se livrent à une rapide reconnaissance de la position du sous-marin, soit en procédant par le toucher, soit par vision diurne,

soit à l'aide des lampes électriques sous-marines du modèle en service et emportées par ces ouvriers.

Puis, les scaphandriers dévissent, avec leurs clefs anglaises qu'ils portent à la ceinture, les tampons hauts des tubes d'air des compartiments du bord accessible (ou des deux bords si le navire est demeuré presque droit sur quille en sombrant), et y branchent les raccords des tuyaux à air.

Ils font le signal convenu avec le navire sauveteur (ou lui téléphonent avec l'appareil de mon système, qu'ils possèdent dans leur casque) pour demander la mise en marche du compresseur d'air, puis dévissent immédiatement les tampons bas des tubes de dégagement d'eau.

Ils s'assurent que les poids de sécurité ont été largués, ou font la manœuvre nécessaire pour cet abandon.

Les scaphandriers écoutent et font les signaux sonores (ainsi qu'il a été expliqué) en frappant sur les tôles, indépendamment des communications téléphoniques existantes, ou pouvant exister par l'intermédiaire des bouées-balises, entre l'équipage prisonnier dans le sous-marin et celui du navire sauveteur.

Admettons que l'équipage prisonnier soit en menace d'être gagné par l'eau, ou en proie à des gênes respiratoires du fait des dégagements nocifs ou d'appauvrissement de l'air respirable; l'arrivée de l'air comprimé rendra le souffle aux hommes emprisonnés et étalera la rentrée d'eau qui, progressivement, sera refoulée au dehors.

L'équipage du sous-marin bénéficie, à tous points de vue, de l'admission de l'air comprimé. Au fur et à mesure de l'évacuation de l'eau refoulée hors de ses $n + 1$ (2, 3, 4) etc., compartiments et débarrassé de son poids de sécurité largué, le navire retrouvera sa flottabilité et remontera de lui-même affleurer la surface de la mer.

Bien entendu, d'après les règles connues, l'admission de l'air comprimé est faite en considérant la profondeur où gît le sous-marin coulé : on l'équilibre quand le sous-marin remonte et en ayant soin de veiller au moment où le bateau désouille, instant toujours critique.

Tel est succinctement le programme à suivre pour utiliser les adjonctions de moyens préservateurs et de secours indiqués.

Considérons maintenant un sous-marin (non pourvu d'engins spéciaux de sauvetage décrits) pris au hasard dans l'une quelconque des catégories citées au début de ce mémoire, et suppo-

sons que, comme le *Lutin*, il ait sombré à une profondeur variant entre 36 et 40 m, et avec ou sans avaries de carène. J'admettrai, quoique les coques des sous-marins à flot ne soient pas construites, en général, pour affronter des pressions de 4 à 5 kg par centimètre carré, que, néanmoins, le gabarit cylindro-conique a pu réagir victorieusement et que, pour l'instant, les phénomènes d'écrasement ne croissent pas jusqu'à la déformation absolue du solide immergé dans le bas-fond. (Si je prends cependant comme terme comparatif un type de sous-marin dont la surface de coque est de 1 300 000 cm^2, je constate que ce bateau passant de 30 m, je suppose, à 31 m, l'accroissement de pression pour cet excédent de plongée de 1 m se traduit aussitôt par un excédent de pression de 130 000 kg sur la surface totale de coque !)

Coûte que coûte, l'envoi des scaphandriers s'impose; ceux-ci sont amenés par le navire sauveteur et, aussitôt qu'on a pu repérer l'emplacement du sous-marin (le délai peut être trop long!) ils descendent en se munissant d'une fraiseuse à air comprimé portative (1) branchée sur un tuyau d'air comprimé émanant du navire. Les scaphandriers frappent avec un outil métallique sur la coque et écoutent. Puis, là où ils ont entendu un appel, ou bien, là où ils supposent l'équipage réuni, ils feront rapidement avec la fraiseuse à air comprimé un trou dans la paroi simple ou les deux parois de la coque et le plus haut possible; puis le trou étant percé, ils enfoncent au marteau une longue douille à raccord, démontent leur fraiseuse et branchent le tuyau sur le raccord enfoncé à refus dans le trou exécuté. Les scaphandriers se munissent de leur lampe électrique portative pour exécuter ces opérations.

L'air comprimé emmagasiné remplira, peu à peu, tout ou partie du sous-marin coulé. Même si la coque est avariée, cet air comprimé rendra une certaine flottabilité au bateau qui se décollera du fond, se désouillera.

Si, entre temps, on a pu préparer, outre des paillets obturateurs comme pour les méthodes ordinaires de lavage, des chaînes, des câbles, des sangles, des aussières, et qu'on saisisse le bateau par dessous la carène, en raidissant ces câbles reliés au navire sauveteur ou au dock, on aura fait un grand pas dans la voie du sauvetage. On pourrait soulager la coque, une fois désouillée, en employant une série de crics ordinaires. Il ne sera pas néces-

(1) Employée par la maison Siebe Gorman and Cᵒ, de Londres.

saire d'amener là carène hors d'eau, pourvu qu'on ait accès au capot du kiosque en faisant émerger celui-ci afin de permettre la sortie des survivants quand les pressions seront équilibrées.

Il va de soi que toutes ces manœuvres seront subordonnées au calme relatif des éléments.

Levage.

Je suis amené maintenant à parler des procédés les plus convenables idoines à un levage et à un renflouage de coque d'un sous-marin.

Je considérerai, au chapitre VI, le naufrage théorique d'un sous-marin de *400 t* coulé sous 35 m d'eau avec avaries de coque, afin de pouvoir dire : qu'alors qu'on peut le plus on peut le moins.

Je constate avec regret, et tout d'abord, qu'en France nous n'avons pas de pontons-allèges ou de docks capables de lever *directement* de pareilles masses.

Reportons-nous, en passant, aux opérations de renflouage du sous-marin *Lutin* en octobre 1906. Après sondages, dragages, etc., on rencontra enfin l'épave, coulée au large de Bizerte par environ 36 m de fond, et à 2.500 m de la côte.

Des scaphandriers français et étrangers purent au prix d'efforts importants, vu la profondeur à laquelle était coulé le sous-marin et le peu de prise de son gabarit fusiforme, passer des élingues robustes sous la coque et les y brider. Il s'agissait de lever environ 184 tx plus un poids d'eau x.

Le temps étant resté beau, on conduisit au-dessus de l'emplacement enfin balisé où se trouvait le *Lutin* un dock flottant provenant de l'arsenal de Sidi-Abdallah. C'était le seul appareil dont on pouvait disposer. On fit caler le dock en l'enfonçant à ses 4 m de maximum par le remplissage de ses water-ballasts. On fixa et raidit au dock les chaînes et élingues qui retenaient le sous-marin, puis on épuisa les water-ballasts du dock qui remonta ainsi de 4 m, en entraînant le *Lutin*, suspendu entre deux eaux, à environ 32 m de profondeur. Le dock remorqué avec son fardeau fut conduit à l'aplomb d'un fond reconnu n'être que de 32 m et vers la côte. On y laissa reposer le *Lutin*, puis on refit caler le dock. On embraqua à nouveau les élingues et on regagna un autre haut fond de 29 m encore plus proche de la côte. Bref ces opérations se répétèrent de 4 m en 4 m, jusqu'à un haut fond de 12 m, où, finalement, on reprit le sous-marin en sus-

pension à 8 m sous le dock qui entra enfin, au bout de plusieurs jours, dans la forme de radoub où on échoua définitivement le *Lutin*. On fit sortir le dock, on ferma les portes de la cale et on l'épuisa.

Eh bien ! pour éviter le retour de pareils retards et de manœuvres aussi précaires, il serait utile que la Marine possédât au moins quatre pontons-allèges de grande puissance, deux sur les côtes de l'Océan, deux sur les côtes de la Méditerranée, susceptibles d'intervenir efficacement à un sinistre touchant la flotte de nos sous-marins, ou qu'une Compagnie Française Maritime de Sauvetage et de Renflouage ait dans son matériel un certain nombre de ces pontons spéciaux lui servant aussi à ses propres sauvetages, et qu'elle en garnît ses stations de veille dans l'Atlantique et la Méditerranée, afin que l'État puisse requérir son secours immédiat, au besoin.

Ces pontons sont inspirés de ceux construits et employés par la *Thames Conservancy* et qui sont définis dans une note publiée au Congrès d'architecture et de construction navales de 1900 ; l'auteur, l'honorable Ingénieur David W. Noakes, cite notamment un renflouage du vapeur *La Cora Maria*, coulé dans le Sea Reach, après un abordage. Ce bâtiment jaugeait 1.231 t register et avait à bord 1.700 t de houille. On utilisa des élingues composées de câbles d'acier Bullivant de 8 pouces de circonférence, six torons, trente-sept fils, charge de rupture 190 t calculée sur une résistance à la traction de 90 t par pouce carré. Douze de ces câbles, faisant retour à bord de deux pontons spéciaux de 400 t, et de deux pontons de 300 t, supportaient le vapeur *Cora Maria* qui fut heureusement renfloué.

Je ne puis que mentionner que j'ai conçu les plans de quatre de ces grands pontons-allèges (pour les construire d'après les gabarits inspirés par les modèles en usage pour les services de la *London Thames Conservancy* et de la *Liverpool Steam Tug C°*), mais perfectionnés, équilibrés, water-ballastés, tous munis de puits centraux pour le passage des chaînes de levage et câbles en acier avec minimum de rupture de 150 t, armés de vérins mécaniques très puissants, de serre-mailles, etc., et qui représentent un matériel aussi utile à la sauvegarde des navires de guerre, spécialement les sous-marins, que des bâtiments de commerce. Chaque ponton aura une puissance de portage de 500 t en sus de sa flottabilité de carène. Ils ne seraient pas automobiles. Leur remorquage s'imposerait donc.

Cables.

Pour les renflouages des bateaux sous-marins, je suis très partisan du choix des câbles en acier, de préférence aux chaînes. Outre que ces câbles métalliques présentent beaucoup plus de sécurité que les chaînes, ils se filent bien mieux sous l'eau pour l'élingage, alors que la chaîne fait des coques et peut se capeler sur des angles vifs, etc.!

La différence de poids, par rapport à la chaîne, est un facteur favorable, les cordages métalliques sont d'une manœuvre plus facile, et les allèges ont un poids moindre à soulever. Le câble métallique Bullivant, préconisé avec raison par l'Ingénieur Noakes pour ses travaux de renflouage ordinaires, ne pèse que le dixième du poids d'une chaîne d'égale force. Les câbles métalliques sont aussi plus légers, moins difficiles à saisir et à diriger pour les scaphandriers qui ont mission de s'en servir. J'ajouterai que le câble métallique, même d'une grosseur déjà importante, peut être noué bien mieux qu'une chaîne, et est susceptible de glènes de diamètre très petit néanmoins.

Autrefois, on reprochait aux câbles métalliques d'être peu aisés à tourner sur des bittes et de se lâcher au moment utile. En adoptant les apparaux de manœuvre et de fixation des câbles et remorques en fil d'acier au moyen de *griffes à double coin* et des stoppeurs du système de M. l'Ingénieur en chef de la Marine Moissenet, on évitera beaucoup d'inconvénients, notamment les dangereux coups de fouet, et on gagnera du temps, ce qui est très précieux pour l'objet qui nous occupe.

Chapitre VI

Résumé des conditions d'élingage d'une coque en fond.

Voyons, maintenant, comment il convient de procéder pour l'élingage du sous-marin coulé et n'offrant aucun dispositif prévu pour aider à son levage.

On considèrera le bateau spécial comme un navire ordinaire en fond d'eau, en se méfiant toutefois de son gabarit fusiforme vers l'AV et vers l'AR, qui tend à laisser glisser les élingues vers

l'extrême AV et l'extrême AR quand on commence à les raidir et si on n'a pas le soin de les arrêter par des aiguilletages ou des brides les rappelant vers le maitre couple ou le kiosque.

La première opération de l'élingage consiste à glisser une petite chaine sous le navire. Le plus léger angle fait par l'épave avec les courants de marée produit, généralement, un effet d'affouillement aux deux extrémités et il serait extraordinaire qu'au moins un des bouts du navire ne fût pas libre. Si le sous-marin est coulé sur un fond mou, on termine en queue de rat le câble d'acier destiné à former l'élingue et on passe ensuite aisément cette queue sous la quille ou carène et on la reprend de l'autre côté.

La petite chaine ayant été glissée sous la carène, on y fixe une chaine plus forte et on lui imprime cette fois un mouvement de va-et-vient destiné à creuser une sorte de tunnel par où s'engagera à son tour le câble en acier, qu'on passe directement comme il vient d'être dit ou qu'on attache à la chaine que l'on hâle de l'autre côté. On relève ensuite les bouts libres des câbles ainsi passés et on les tourne sur les vérins mécaniques des deux pontons allèges qui sont venus se placer à l'aplomb et parallèlement à l'épave. Chacun de ces pontons doit avoir une puissance élévatoire de 300 t outre sa propre flottabilité. On peut les constituer, en attendant la construction de pontons spéciaux, avec des bâtiments de servitude ou, en cas pressé, avec les navires les plus proches du lieu du sinistre, pourvu qu'on ait la faculté d'y installer des vérins mécaniques tels que ceux usités en Amérique. et qui ont une puissance de levage direct de 50 à 70 t par unité. Ces vérins n'occupent pas plus de 2 m² et leur installation n'offre pas autrement de difficulté; le tout est de les avoir sous la main et vite parés.

Les positions les meilleures d'emplacement des élingues sont déterminées par la longueur du navire et la répartition des compartiments et couples les plus lourds. On tiendra compte aussi de la position la plus favorable à donner aux deux pontons allèges, qui seront mouillés dans les meilleures conditions de tenue et d'emplacement.

Si la mer est agitée, on n'embraque pas tout d'abord ces câbles. Le péril, en ce cas, est de ne pouvoir tenir ces pontons allèges à leur écartement désiré et à leur poste de mouillage et sans qu'ils s'abordent. Évidemment, c'est un risque à courir.

Les scaphandriers ont continué à bien faire saisir la coque et

complété l'arrimage au moyen de cordages en chanvre, tournés si possible en demi-clefs, destinés à contretenir à leur poste les câbles métalliques formant élingues.

Pour un sous-marin de 400 t, il y a intérêt à disposer dix élingues travaillant chacune à un effort maximum de 60 t, y compris l'effort de désouillage. C'est suffisant.

On choisira donc des câbles en acier résistant, type Bullivant, ayant un maximum de rupture de 80 t, ou bien des câbles métalliques de 43 mm de diamètre pesant 7 kg au mètre courant, en acier fondu au creuset et ayant un maximum de rupture de 86000 kg. On profitera d'une embellie et de la basse mer pour embraquer les élingues. Le travail sera singulièrement facilité si le temps est beau, cela va sans dire. Avec la marée, le sous-marin flottera et on le fera ascensionner ensuite à l'aide des vérins. S'il n'y a pas de marée, dès que le navire portera sur ses câbles on fera agir les vérins mécaniques à bord de chaque allège et aussi synchrones que possible, *pour rentrer des deux bords et peu à peu* les élingues et faire ascensionner le sous-marin jusqu'à émersion du capot. Dans ce deuxième cas, le désouillage sera plus dur.

Un remorqueur entraînera ensuite au port les allèges et le sous-marin suspendu sur les câbles et réunis.

Comme la traction des élingues sur un bord des allèges *fera donner à la bande celles-ci*, il va de soi que, par les procédés connus de report de lest mobile, on aura pourvu au maintien de ces allèges dans leur position normale de flottaison.

Si le naufrage a eu lieu dans une baie abritée ou bien en un point où l'on puisse compter sur le calme, il convient de maintenir les pontons allèges ou les bâtiments allèges à une distance convenable l'un de l'autre au moyen de grandes sapines ou gros espars qui les relient solidement, afin de les empêcher de prendre trop de bande. Les extrémités des espars dépassent légèrement les pavois et reçoivent les points d'attache des câbles de soulèvement. Ce jumelage des pontons allèges ne peut toujours être opéré, soit qu'on ne possède pas des sapines ou des espars convenables, soit que la situation ou la forme de l'épave s'y opposent pour les navires ordinaires. Au contraire, pour les sous-marins ce jumelage des allèges serait excellent, le sous-marin ne devant être qu'amené tangenter la surface de l'eau et étant dépourvu de toute mâture et de tout gréement. Dans ce cas de jumelage, les efforts peuvent être répartis à peu près égaux sur les deux côtés de chaque allège de la façon suivante : deux câbles assez

proches l'un de l'autre sont passés sous l'épave; les deux bouts situés à tribord de l'épave sont relevés l'un à tribord et l'autre à bâbord de l'allège de tribord et reliés l'un à l'autre sur le pont de cette allège; les deux bouts des câbles situés à bâbord de l'épave sont de même relevés à bâbord et tribord de l'allège de bâbord et attachés ensemble. Ces câbles forment ainsi un huit et les allèges sont sollicitées par les deux bords : elles ont par suite moins de tendance à prendre une bande dangereuse.

Avec des pontons de modèle spécial préconisé, ces soins divers seraient évités et les manœuvres gagneraient en accélération et en sécurité.

Dock.

La construction de docks affectés plus spécialement aux entreprises de sauvetage et de renflouage éventuelles des sous-marins est sujette à critiques, en ce sens que ce matériel devrait être modifié pour la destination particulière qu'il aurait, de façon que le dock ne pourrait plus limiter son intervention au simple rôle de flotteur allège, comme pour le sous-marin *Lutin*, mais qu'il faudrait absolument munir le dock de vérins mécaniques de levage pour obtenir l'affleurement de la coque du sous-marin renfloué. D'autre part, il serait nécessaire, pour permettre l'émersion par-dessous le dock, de pratiquer dans sa propre carène un puits de longueur et de largeur suffisantes pour que les superstructures du sous-marin remonté et une portion plus ou moins grande du segment ellipsoïde de la coque du sous-marin puissent venir s'inscrire sous le dock, à la ligne de flottaison.

Nécessairement aussi les docks à prévoir devraient obligatoirement être de dimensions à concourir aux opérations de secours visant la plus forte catégorie des types de sous-marins à flot.

Il y a donc là des difficultés qui tendraient à faire rejeter l'idée de construction de docks spéciaux et qui militent en faveur de l'adoption des pontons susceptibles, quels qu'en soient les cavités ou puits ménagés en leur milieu, d'être d'un emploi plus sûr pour toutes interventions généralement quelconques.

Le ponton prévu ayant une puissance élévatoire de 500 t en plus de sa propre flottabilité, il ressort que cette allège employée *seule* aurait un rôle déjà très efficace de levage d'un sous-marin de 400 t.

PITONS.

On a agité la question de savoir s'il convenait de doter les coques des sous-marins de pitons destinés à crocher ou y passer les élingues pour aller plus vite lors d'un relèvement au lieu de passer ces élingues sous quille.

En principe, je me prononce pour l'affirmative. Ces pitons, constitués par des boucles fixes en acier extra-robustes, devraient être tangents verticaux au sommet des couples du navire et placés parallèlement à l'axe longitudinal du bateau et solidement reliés aux membrures cornières du couple, choisi de préférence au droit d'une cloison étanche. Le diamètre de leur ouverture intérieure peut ne pas être supérieur à 140 mm pour les sous-marins de la catégorie de 400 t. On a vu que les câbles d'acier, à charge de rupture de 190 t, type Bullivant, n'ont que 8 pouces de circonférence, soit 203,198 mm ou 68 mm de diamètre et ces câbles étant considérés comme prototype des agrès de ce genre pour la grosseur et la force.

Pour éviter des aspérités, minimes cependant, sur la coque, on logerait à demi ces pitons dans une alvéole, circulaire néanmoins, afin de ne pas gêner le passage du câble.

Ces pitons, répartis par conséquent sur l'épine dorsale du sous-marin, pourraient être égaux en nombre à celui des cloisons étanches pour chaque catégorie de sous-marin.

Ils devraient supporter chacun un effort de traction unitaire maximum de :

10 tx	pour les sous-marins	jaugeant	60 tx
30 tx	—	—	180 tx
40 tx	—	—	240 tx
50 tx	—	—	400 tx

ces efforts totalisés par type de bateau considéré étant suffisants pour faire *affleurer* ces coques de bateau ramenées des fonds et suspendues ainsi.

Pour les élinguées sous carène des différents types de sous-marins, il me paraît admissible d'adopter environ :

5 élingues acier D = 27 mm Poids mètre courant 2,5 kg Rupture 20 700 kg	portant	10 tx 15 tx 15 tx 10 tx 10 tx	pour les sous-marins de 60 tx

6 élingues acier D = 43 mm Poids mètre courant 6,90 kg Rupture 40 000 kg	portant	30 tx 30 tx 30 tx 30 tx 30 tx 30 tx	pour les sous-marins de 180 tx
6 élingues acier D = 45 mm Poids mètre courant 8 kg Rupture 51 000 kg	portant	40 tx 40 tx 40 tx 40 tx 40 tx 40 tx	pour les sous-marins de 240 tx
8 à 10 élingues acier D = 50 mm Poids mètre courant 10,30 kg Rupture 64 000 kg	portant	50 tx 50 tx 50 tx 50 tx 50 tx 50 tx 50 tx 50 tx	pour les sous-marins de 400 tx

avec un coefficient de sécurité = 8 pour les câbles désignés.

Grues flottantes.

Hors la proximité de la côte et d'abris sûrs, et hors le périmètre des fonds ne dépassant pas 20 m, l'intervention de grues flottantes des modèles de force réduite que l'on possède en service actuellement est plutôt pernicieuse qu'utile ; qu'on se souvienne de l'accident survenu à la trop faible grue concourant au levage du *Farfadet*.

Je ne vois d'admissible que l'intervention des grues ou « Derricks » du type américain, qui, outre leur puissance élévatoire variant entre 60, 100, 150 t, sont construites et installées sur des pontons susceptibles de tenir la mer et de ne pas chavirer *au cours des manœuvres* par mer agitée.

La puissance, l'assiette et le pouliage, le mécanisme de ces « Derricks » sont très bien compris. Il m'a été donné d'en voir deux contribuer, avec plein succès et rapidité, au renflouage et au redressement d'un trois-mâts de 1 000 tx sombré par 29 m

d'eau. Sans l'intervention de ces deux Derricks, le renflouage eût été totalement manqué. On peut s'inspirer de l'établissement de ces engins de levage pour un projet de grues flottantes pouvant concourir à un renflouage ou sauvetage d'un sous-marin.

Conclusions.

De cette contribution à l'étude du sauvetage et du renflouage des sous-marins, il ressort :

Qu'au delà d'une limite déterminée, en profondeur, pour l'accès des scaphandriers, le sauvetage et le renflouage du navire coulé sont compromis;

Que les impedimenta préconisés ne sont pas susceptibles de nuire aux conditions de navigation spéciale et au rôle militaire du sous-marin;

Qu'on ne peut, sous peine de tomber dans l'excès, multiplier les moyens de sauvetage à bord des sous-marins qui sont des armes de combat avant tout et, le voudrait-on, qu'on aurait cependant la certitude, par avance, que ces moyens risqueront de n'être d'aucune utilité dans certains cas;

Que, dans l'état actuel de la Science, les conditions d'immersion totale d'un solide flottant le placent en position d'équilibre instable, et qu'on devra toujours compter avec ce facteur dangereux;

Que l'augmentation de la sécurité des équipages résidera, surtout, dans les progrès incessants des conditions de flottabilité, d'habitabilité, de direction et de manœuvre du navire lui-même;

Qu'en cas de naufrage, et sous la réserve d'atteindre la coque submergée retrouvée, le procédé de l'air comprimé est le plus propice aux rapides sauvetages de l'équipage et renflouage du b ateausombré;

Qu'en cette matière de sauvetage de vies humaines et de matériel, il y a toujours à se défier des systèmes automatiques, et qu'on est en droit de ne sérieusement compter que sur l'intelligente intervention des sauveteurs et le sang-froid de l'équipage du bâtiment en péril.

Il ne m'a pas paru autrement nécessaire d'adjoindre des plans et croquis aux descriptions des procédés et méthodes, très élé-

mentaires d'ailleurs, décrits dans ce simple exposé. Si l'on veut bien s'arrêter à ces descriptions, elles n'exigeront qu'une technique ordinaire pour leur lecture, et les détails de construction des engins préconisés ne présenteraient aucune difficulté d'exécution pour les ateliers du grand et du petit outillage des arsenaux, habitués à des travaux autrement délicats. La production de dessins aurait pu aussi faire croire à la publication de renseignements interdits surtout en ce qui touche au matériel de la navigation sous-marine.

INSTALLATIONS HYDRO-ÉLECTRIQUES

DE

L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

DU

LITTORAL MÉDITERRANÉEN [1]

PAR

M. E. DE MARCHENA

Quoique la possibilité de transmission à grande distance de l'énergie par l'électricité soit depuis longtemps un fait acquis, la réalisation industrielle en est relativement récente. Ce n'est guère à plus d'une douzaine d'années, en effet, que remontent les premières entreprises ayant pour but la distribution de l'électricité sur une région étendue, avec emprunt de l'énergie à des sources éloignées des centres de distribution.

Par contre, depuis ses premières applications, cette industrie spéciale a pris un développement considérable et qui a contribué pour une très grande part à la grande activité de l'industrie électrique durant la période actuellement en cours. Après avoir pris d'abord pour base unique l'utilisation des chutes d'eau, ces distributions se répandent maintenant dans des régions industrielles tout à fait dépourvues de houille blanche ou verte, où la seule source d'énergie possible réside dans l'emploi de machines thermiques, mais où elles se justifient néanmoins par les grands avantages que donne la concentration rationnelle des moyens de production.

Dans une communication faite il y a un peu moins de deux ans, M. Semenza nous a fait part du développement rapide qu'avaient pris, dans la Haute-Italie, les installations hydro-

(1) Voir planches nos 142, 143, 144 et 145.

électriques, et nous a montré quelle influence puissante elles avaient eue sur le développement économique de cette région.

La France, qui par les célèbres expériences de Marcel Desprez, a été le berceau de la transmission de force électrique, n'est pas restée en arrière de ce mouvement. Elle y a pris part dès ses débuts avec les remarquables installations de Jonage à Lyon, et ensuite avec les nombreuses installations qui se sont développées, d'abord dans le Dauphiné, puis dans le Centre, les Pyrénées, le Jura, c'est-à-dire dans toutes les parties de la France où la houille blanche était disponible et trouvait clientèle.

Parmi ces installations, celles de la Société « Énergie Électrique du Littoral Méditerranéen » me paraissent mériter une mention spéciale; elles ne sont pas très connues encore de la masse du public, et cependant elles possèdent une envergure dont on ne rencontre pas beaucoup d'exemple équivalent non seulement en France, mais encore dans l'Europe entière. En effet, ces installations sont appelées, dans un avenir très prochain, à s'étendre au-dessous de la Durance, dans tout l'espace compris entre le Rhône et la frontière italienne, couvrant de leur réseau quatre départements entiers et desservant une population de près de 1 500 000 âmes *(fig. 1*, pages 52-53).

Elles présentent, en outre, ce caractère particulier que leurs étapes successives marquent et reflètent d'une manière très nette les progrès rapides qu'a faits en cette matière l'industrie électrique durant ces dernières années.

Cette partie du Midi était particulièrement favorable à ce genre d'entreprise.

En premier lieu, le charbon y est relativement cher et presque en entier importé de l'étranger.

D'autre part, les chutes susceptibles d'être utilisées, tout en étant amplement suffisantes aux besoins de la région, ne présentent pas cette multiplicité et cette surabondance qui, dans d'autres régions, ont conduit à la division et au morcellement d'entreprises n'ayant entre elles aucun lien ni plan d'ensemble.

Enfin, le régime des rivières y présente une variété très particulièrement favorable. Plusieurs d'entre elles sont, par leur source, d'origine glaciaire et possèdent, de ce chef, des réserves de houille blanche qui s'accumulent durant la saison froide et empêchent le débit de diminuer durant la saison chaude.

Mais, en général, ces rivières ont aussi une grande partie de

leurs bassins établis à une altitude modérée, dans une région à climat très tempéré; les précipitations atmosphériques s'y font en hiver sous forme de pluie, ce qui empêche le débit de s'abaisser considérablement durant cette saison pendant laquelle les glaciers et les neiges accumulés dans les parties hautes ne contribuent plus à l'alimentation.

Les rivières qui présentent ce double caractère d'une manière très marquée, comme le Var et la Durance, possèdent régulièrement deux étiages, l'un en hiver, l'autre à la fin de l'été; ces étiages sont plus ou moins accentués l'un par rapport à l'autre, mais ils restent toujours relativement abondants; ils ne donnent pas lieu aux pénuries excessives et désastreuses que l'on constate en hiver sur certains cours d'eau d'origine purement glaciaire de la région du Dauphiné, et durant les étés chauds et secs sur la plupart des cours d'eau de la région du centre qui ne possèdent, dans les parties hautes de leur cours, que des réserves tout à fait insuffisantes de neige et de glace.

D'autres rivières, comme le Verdon, la Siagne, le Loup, n'ont qu'un seul étiage régulier, en été; cependant, certaines années très froides et particulièrement défavorables donnent également lieu à des basses eaux au cours de l'hiver.

Enfin, d'autres rivières, comme l'Argens, ont leur bassin établi tout entier à basse altitude et ne donnent lieu qu'à des étiages d'été, ceux-là, par exemple, très réduits.

Ces différents régimes se combinent donc entre eux d'une manière très heureuse au point de vue de la régularité de la puissance disponible; d'une manière globale, cette puissance atteint son maximum en hiver, qui est précisément la saison de grande consommation (en particulier dans le département des Alpes-Maritimes).

La concentration de leurs divers éléments entre les mêmes mains, celles de la Société « Énergie Électrique du Littoral Méditerranéen » a permis d'en obtenir de bien meilleurs résultats que s'ils fussent restés isolés.

Historique.

Les origines de la Société « Énergie Électrique » remontent à l'année 1897. A cette époque, un jeune Ingénieur niçois, de grande initiative, M. A. Durandy, frappé du mouvement qu'il

voyait se dessiner dans l'Isère pour l'emploi industriel des chutes d'eau, avait formé le projet d'utiliser d'une manière similaire les forces motrices du Var pour les besoins de la Ville de Nice. Son projet consistait à couper, au moyen d'un canal de dérivation en galerie, la boucle que le Var forme au lieu dit « la Mescla » aussitôt après son confluent avec la Tinée ; on pouvait ainsi, au moyen d'une dérivation d'environ 600 m, créer à une trentaine de kilomètres de Nice une chute d'eau de près de 10 m de hauteur, qui donnait une puissance disponible d'environ 2 000 ch.

M. Durandy fit partager sa conviction dans son entourage, et put constituer un groupe local qui, sous le nom de Société des Forces Motrices des Alpes-Maritimes, s'occupa de la réalisation de son projet.

Les circonstances lui furent favorables, car à cette même époque s'établissait, sous le contrôle de la Compagnie Française Thomson-Houston, le réseau des Tramways de Nice et du Littoral qui devait s'étendre de Cagnes à Monaco, sur une distance de plus de 50 km. L'alimentation économique d'un pareil réseau tout en longueur, dans une région où le combustible était cher, constituait une question assez difficile à résoudre à cette époque.

Une étude attentive de cette question que j'eus à faire sur place démontra la possibilité technique et les avantages financiers de l'emploi, pour cette alimentation, de la chute projetée par M. A. Durandy, et un accord intervint en 1898 par lequel la Compagnie des Tramways de Nice prenait à bail, pour la durée de sa concession, la chute de la Mescla.

Le programme consistait à y établir une usine génératrice hydro-électrique, comportant trois unités de 800 ch, d'y produire l'énergie électrique sous tension de 10 000 volts et fréquence de 25 périodes, et de la transporter jusqu'au littoral au moyen d'une ligne de transmission aérienne pénétrant dans Nice par la vallée du Paillon, et aboutissant au dépôt de la Compagnie des Tramways, boulevard Sainte-Agathe.

Là, une sous-station de transformation principale devait convertir le courant triphasé haute tension en courant continu à 600 volts pour la traction.

Deux autres sous-stations, situées l'une près de Beaulieu, l'autre près du Var, devaient compléter l'alimentation du réseau.

Le secours devait être assuré par une usine à vapeur placée dans le dépôt et comprenant deux groupes Corliss de 1 000 ch à échappement libre.

Ce programme fut exécuté sans incidents, et, malgré les très grandes difficultés de tous ordres éprouvées pour l'établissement des lignes de transport dans une région tout particulièrement difficile, les installations purent être mises en service vers la fin 1899, et assurer, à partir de ce moment, d'une manière pleinement satisfaisante, le service des tramways.

A peu près vers cette époque, la Compagnie Française Thomson-Houston était en rapports avec la Compagnie des Grands Travaux de Marseille, dont le directeur, M. Rebuffel, poursuivait un projet grandiose d'application de l'électricité à la traction des Chemins de fer P.-L.-M. sur la section Cannes-Vintimille, projet qui s'inspirait des applications analogues qui venaient de se faire avec succès sur la section Austerlitz-Orsay de la Compagnie d'Orléans et sur la ligne Invalides-Versailles de la Compagnie de l'Ouest.

Pour effectuer les essais préliminaires indispensables, la Compagnie des Grands Travaux de Marseille s'était assuré les droits immobiliers permettant la création d'une chute de 3 000 ch sur la rivière le Loup, et elle recherchait une utilisation pour l'excédent de puissance considérable qui resterait disponible.

Précisément à ce moment, la Compagnie des Tramways de Nice voyait déjà arriver l'époque où la chute de la Mescla n'allait plus suffire aux besoins de son réseau; en outre, elle était sollicitée par la Compagnie du Gaz de Nice et par divers industriels des environs, témoins du fonctionnement régulier du transport de force de la Mescla, de leur fournir l'énergie dont ils avaient besoin.

Dans ces conditions, l'idée vint tout naturellement aux intéressés de fusionner les éléments dont ils disposaient; un accord s'établit sur ces bases entre la Compagnie Française Thomson-Houston et la Compagnie des Grands Travaux de Marseille, et la conséquence en fut la fondation, en juin 1900, sous les auspices de ces deux Compagnies, de la Société « Énergie Électrique du Littoral Méditerranéen ».

Le programme de la nouvelle Société se limita d'abord à l'aménagement de la chute du Loup, à son raccordement dans Nice avec la chute de la Mescla, et à l'alimentation de la nouvelle clientèle qui venait de se former. Mais, par la pression

même des événements, ce programme ne devait pas tarder à s'élargir.

Elle se rendit bientôt propriétaire d'une usine de 5000 ch en cours d'aménagement sur le Var au-dessus de la Mescla, et put alors achever de constituer son premier réseau, dit des Alpes-Maritimes, réseau qui s'est progressivement étendu à ce département tout entier et qui, depuis sa création, n'a cessé de progresser et d'accroître sa clientèle de la manière la plus remarquable.

Réseau des Alpes-Maritimes.

Ce réseau se trouve alimenté principalement au moyen des chutes établies sur les deux rivières, le Var et le Loup, dont les caractéristiques se complètent de la manière la plus heureuse.

Les chutes établies sur le Var sont des basses chutes ne comportant aucune réserve d'eau et utilisant le débit d'une rivière qui, quoique de régime très variable, conserve toujours à ses deux étiages d'été et d'hiver un fort volume d'eau. Celui-ci ne tombe guère au-dessous de 15 m³ par seconde, et il est généralement supérieur à 20 m³, débit pour lequel ont été prévus les canaux de dérivation des deux usines.

Ces dernières sont donc susceptibles de fournir une puissance sensiblement constante, fléchissant un peu durant les périodes de très basses eaux ou de très fortes crues, mais la même durant les vingt-quatre heures de la journée.

Le Loup, au contraire, est un cours d'eau de montagne, à pente rapide, qui a permis de créer, au moyen d'une dérivation de moins de 4 000 m, une chute effective de 250 m.

Il présente un étiage très régulier en été et parfois un autre en hiver, mais son débit tombe très rarement au-dessous de 1 000 l par seconde, et en moyenne il se tient aux environs de 1 500 l.

Le canal de dérivation a été établi en prévision d'un débit de 1 000 l par seconde, mais il se termine par un réservoir de 6.500 m³, qui permet d'augmenter momentanément, dans des proportions considérables, la puissance développée par l'usine génératrice; cette puissance n'est guère limitée, en fait, que par la capacité de la conduite forcée et par celle des groupes électrogènes de l'usine.

Les usines du Var et du Loup se complètent donc fort bien, celle du Var effectuant toute la partie constante de la consommation, et celle du Loup donnant principalement tout son concours aux heures les plus chargées de la journée pour passer la pointe d'éclairage.

L'aménagement électro-mécanique de ces usines comprend, pour le service de distribution de l'énergie, le matériel suivant :

A l'usine de la Mescla, ainsi que nous l'avons vu, trois groupes de 800 chx;

A l'usine du Plan-du-Var, trois groupes de 1 000 chx;

A l'usine du Loup, quatre groupes de 1 000 chx.

En outre du matériel ci-dessus, l'usine du Plan-du-Var contient trois unités de 1 000 chx spécialement affectées à l'alimentation d'une usine d'électro-chimie appartenant à la Société « La Lonza », usine dont les ateliers sont immédiatement contigus à ceux de l'énergie, et sont desservis par un embranchement de chemin de fer établi par les soins de cette dernière.

Sans entrer dans le détail de ces installations, je me contenterai d'en citer quelques points caractéristiques, par exemple :

1° Pour les turbines, l'usage général des régulateurs à servomoteurs hydrauliques, alimentés sous pression de 20 à 25 kg, tantôt par l'eau de la chute, tantôt par de l'huile comprimée au moyen de pompes spéciales.

Ces régulateurs, très sensibles et à action très rapide, ont permis d'obtenir une parfaite régularité de la vitesse de rotation, malgré la faible inertie des parties mobiles;

2° Pour les alternateurs, l'emploi de bobinages établis directement pour la tension du réseau, ce qui a permis de supprimer toute interposition de transformateurs. Ces bobinages sont constitués au moyen de bobines faites à l'avance sur formes, logées dans des encoches ouvertes de l'induit et très soigneusement isolées.

Il est intéressant de signaler que sur les douze machines similaires entrant dans cette première installation, et malgré la violence des orages, il n'y a eu à constater depuis la mise en service qu'un seul accident de bobinage.

J'ajouterai que l'usine de la Mescla a été envahie deux fois par les eaux, les alternateurs étant noyés jusqu'à leur axe, et qu'après un simple séchage ils ont pu être remis en service sans inconvénients;

3° Pour l'appareillage, l'emploi exclusif d'interrupteurs à huile

permettant de couper les circuits sous pleine charge et pleine tension.

Ceux de la Mescla et de Sainte-Agathe sont, à ma connaissance, les premiers de ce système qui aient été employés en Europe. Ils ont été fortement critiqués aux débuts par beaucoup d'électriciens; mais on s'est rendu depuis à l'évidence de leur supériorité; ils ont été imités partout, et leur emploi est devenu classique pour la haute tension;

4° L'emploi, pour la première fois en Europe, de câbles souterrains à tension aussi élevée que 11 000 volts; ces câbles ont été employés à la traversée de Nice pour raccorder l'usine du Loup au dépôt de Sainte-Agathe, sur une longueur de près de 13 km. C'était là aussi une nouveauté qui paraissait téméraire à beaucoup, mais qui fut néanmoins pleinement couronnée par le succès.

Usines a vapeur de secours.

Un des points saillants du réseau des Alpes-Maritimes réside dans le caractère essentiellement saisonnier de sa clientèle.

Presque partout les besoins d'énergie électrique sont plus importants en hiver qu'en été, par suite de la demande plus grande d'éclairage; mais, dans les Alpes-Maritimes. cette inégalité est très considérablement amplifiée par la nature particulière de la région qui présente, durant l'hiver et le printemps, une vie exceptionnellement intense entraînant une activité générale et simultanée de tous ses organismes.

Aussi, pendant cette période, le réseau des Alpes-Maritimes a-t-il à faire face à des besoins très supérieurs à ceux de la moyenne de l'année, et en outre, dans une même journée, ces besoins, loin d'être uniformément répartis, sont encore très accentués aux heures d'éclairage.

Pour y faire face dans des conditions rationnelles, l'Énergie devait faire appel, non seulement à toutes ses réserves hydrauliques, mais encore aux usines à vapeur de secours dont elle avait la disponibilité, et parmi lesquelles se trouvait en premier lieu l'usine des tramways de Nice au dépôt de Sainte-Agathe. Mais cet appoint ne devait pas tarder à être insuffisant, et le besoin d'un concours plus puissant se faisait sentir.

Après étude attentive de la question, la solution qui fut adoptée consista dans la création, d'accord avec la Compagnie du Gaz de

Nice, d'une puissante station centrale à vapeur sur les terrains disponibles de son usine à gaz, boulevard Risso.

Cette station fut constituée au moyen de groupes turbo-alternateurs type Curtis à axe vertical, d'une puissance d'environ 1 500 chx, tournant à 1 500 tours par minute.

Ces turbines, depuis très répandues, ont été les premières de ce type qui aient été installées sur le continent européen.

Elles sont à quatre étages de pression, chaque étage comportant une série de tuyères de détente, deux jeux d'aubes mobiles portés par une même roue, et un jeu d'aubes fixes placé entre les aubes mobiles. Elles actionnent des alternateurs à deux pôles, dont les stators sont bobinés directement pour la tension de 11 000 volts.

Leur emploi a présenté des avantages marqués à divers points de vue :

1° Il a permis de loger dans l'espace très restreint disponible une puissance relativement très considérable ;

2° Ces turbines ne demandent aucune précaution spéciale pour leur mise en route ; quand les nécessités de l'exploitation l'exigent, elles peuvent, au besoin, être mises en route sans réchauffage préalable, et être prêtes en quelques minutes à fournir de l'énergie au réseau (ce qui est particulièrement précieux pour des machines de secours) ;

3° Elles sont très élastiques de puissance, pouvant fonctionner à charges réduites dans de bonnes conditions économiques, supporter des surcharges momentanées très considérables, et marcher en parallèle dans de parfaites conditions avec les usines hydrauliques ;

4° Enfin, le coût de premier établissement est relativement réduit (à Risso il s'est abaissé au-dessous de 500 f par kilowatt pour tout l'ensemble de l'usine et des constructions) et, en outre, le fonctionnement est des plus économiques.

Aussi l'usine de Risso peut-elle jouer non seulement le rôle d'usine de secours, mais encore celui d'usine d'appoint, et il est fait très largement appel en hiver à cette puissante réserve.

A l'heure actuelle, l'usine comporte trois unités semblables, auxquelles la vapeur est fournie par une batterie de sept grandes chaudières multitubulaires de 4000 kg à l'heure, munies de surchauffeurs de vapeur.

Ces chaudières utilisent comme combustible du poussier de

RÉSEAU GÉNÉRAL DE L'ENERGIE ÉLEC

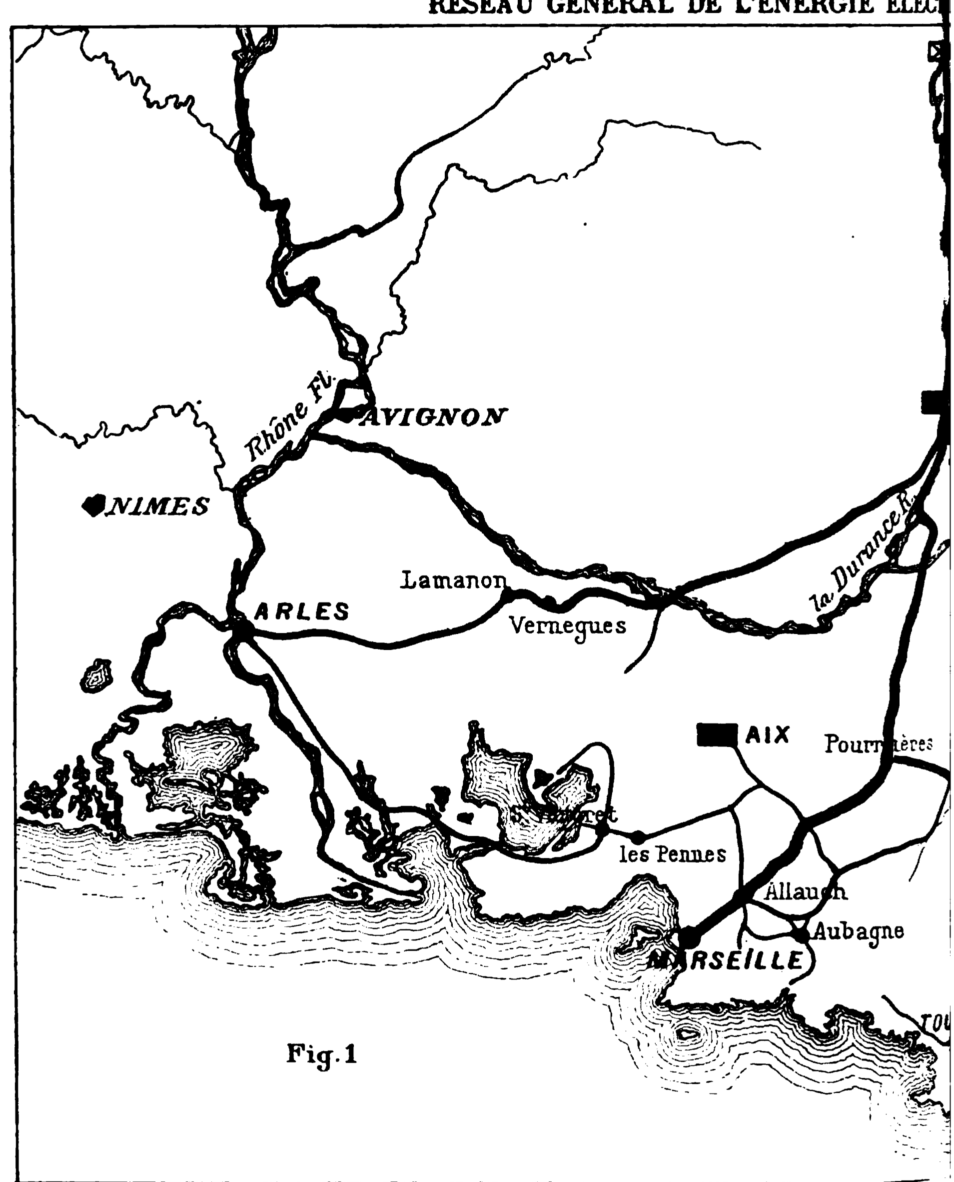
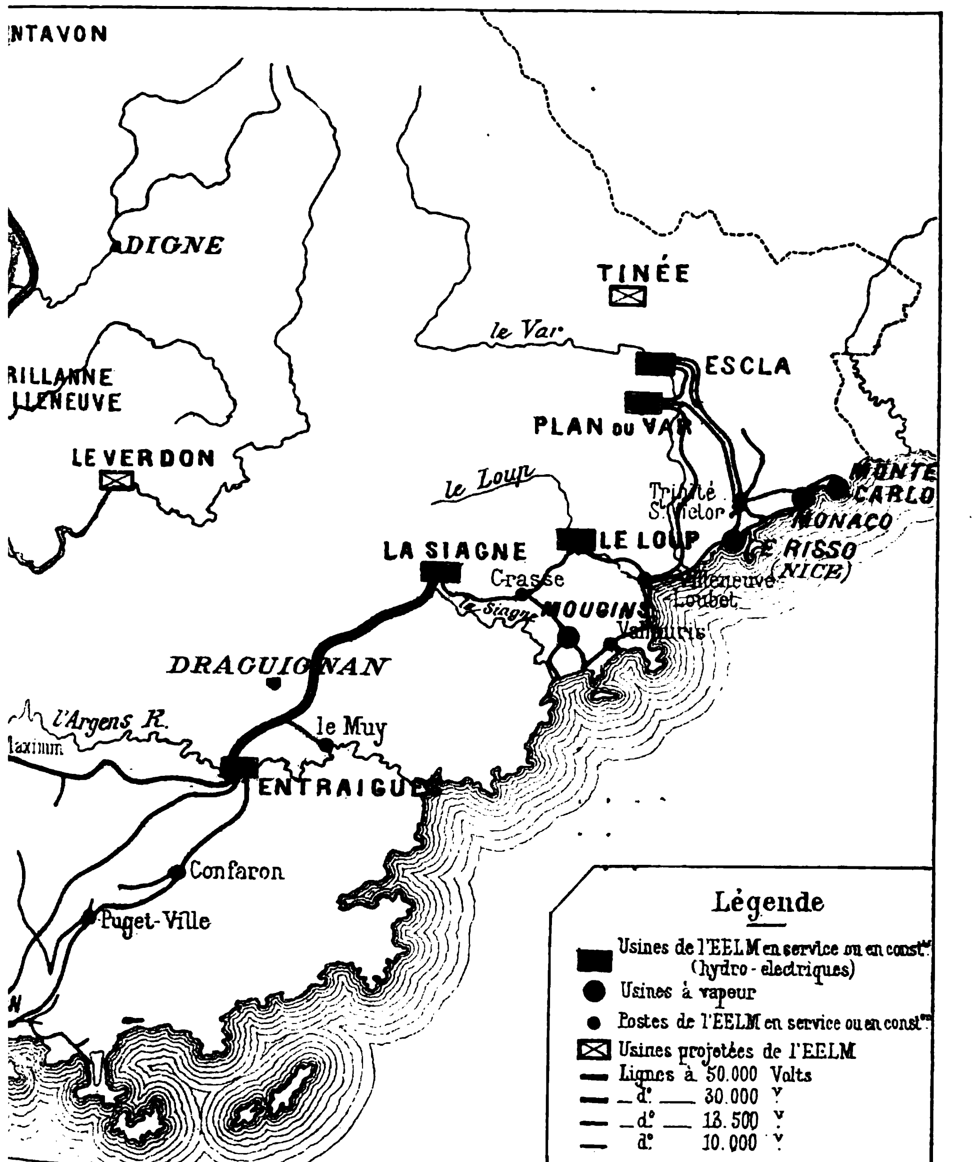


Fig. 1

UE DU LITTORAL MÉDITERRANÉEN



coke à très bas prix, qui est brûlé sur des grilles soufflées d'un type spécial.

La condensation se fait pour chaque turbine au moyen de condenseurs à surface auxquels l'eau de circulation est fournie après son passage dans un grand réfrigérant à cheminée et tirage naturel.

Dans l'exploitation, l'usine à vapeur de Risso se combine d'une manière très harmonieuse et très avantageuse avec les unités hydrauliques du Var et du Loup.

Le graphique ci-après, qui indique leur utilisation au cours du dernier exercice, donne à ce sujet des renseignements intéressants (*fig.* 2).

Il montre qu'en été les usines hydrauliques sont amplement suffisantes, et qu'il reste, même à l'usine du Loup, des disponibilités notables qui ont été utilement employées dans d'autres régions.

Au fur et à mesure que l'on approche de la saison hivernale, il devient nécessaire d'utiliser de plus en plus, au moment de la pointe d'éclairage, la réserve contenue dans le réservoir de l'usine du Loup.

Bientôt cette réserve ne suffit plus, et il devient nécessaire de mettre en marche les machines à vapeur.

L'ensemble des usines hydrauliques et à vapeur a produit, en 1906, pour la distribution d'énergie, près de 22 millions de kilowatts-heure, ainsi répartis :

Usine du Var	10 730 000	kilowatts-heure.
Usine du Loup . . .	9 430 000	—
Usine de Risso . . .	1 540 000	—

Quant à la puissance maximum absorbée par le réseau, elle s'est élevée, durant une partie du printemps 1907, jusqu'à 8 000 kilowatts, avec des pointes atteignant 8 500 à 9 000 kilowatts.

La quote-part, dans ces maxima des usines hydrauliques, n'a pas dépassé 5 000 à 5 500 kilowatts (ces chiffres ne comprenant pas, bien entendu, la puissance fournie à l'usine d'électrochimie de la Lonza).

On peut donc dire que les usines hydrauliques, grâce à l'appoint des machines à vapeur, n'ont à fournir que les six dixièmes de la puissance maximum du réseau; mais, par contre, elles fournissent plus de 90 0/0 du nombre total de kilowatts-heure

ENERGIE ÉLECTRIQUE DU LITTORAL MÉDITERRANEEN

RÉSEAU DES ALPES MARITIMES

PRODUCTION EN KWH

par semaine

Échelle : 0m001 p. 10.000 KWH

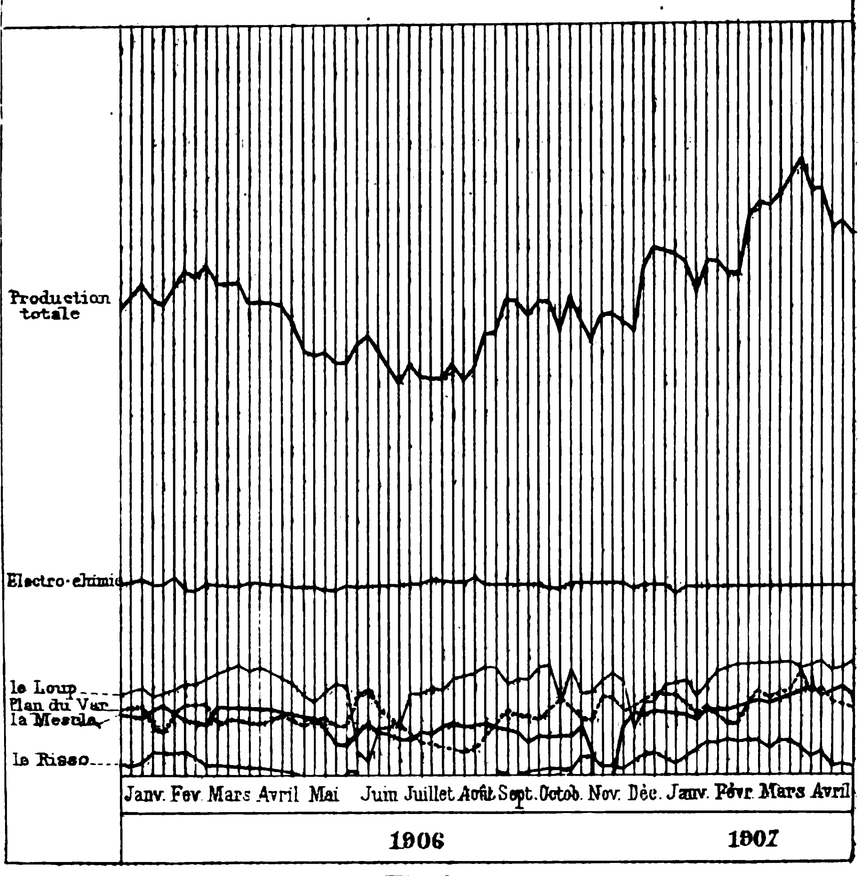


Fig. 2

annuels, de telle sorte que l'emploi partiel de la vapeur ne grève que d'une manière insignifiante les frais d'exploitation, tout en augmentant beaucoup sa sécurité et en permettant une réduction très notable des frais de premier établissement.

En dehors des usines à vapeur de Nice, l'Énergie Électrique en dispose d'autres moins importantes, situées au-dessus de Cannes et au-dessus de Monaco, destinées à assurer le secours des parties éloignées du réseau.

Dispositions adoptées pour assurer la sécurité de l'exploitation.

Une des préoccupations qui ont constamment guidé la Société Énergie Électrique dans l'étude de son réseau a été d'assurer, d'une manière aussi parfaite que possible, la sûreté et la continuité du fonctionnement.

Ce résultat a été obtenu en multipliant les moyens d'alimentation de chaque centre important, en reliant entre elles toutes les usines de production, en bouclant les lignes de distribution, et en les sectionnant au moyen de postes judicieusement situés et munis d'interrupteurs permettant de diviser le réseau entier en secteurs indépendants, entre lesquels la charge peut être répartie à volonté.

La disposition générale du réseau est indiquée par le schéma ci-joint, qui en fait bien ressortir les caractères essentiels *(fig. 3)*.

En principe, les usines génératrices ne marchent pas en parallèle ; elles alimentent chacune un secteur indépendant, de manière à localiser le plus possible les troubles causés par un accident sur un de ces secteurs.

Elles peuvent toutefois fonctionner en parallèle, ce qui est nécessaire soit pour passer la charge d'une usine à l'autre, soit pour en modifier la répartition.

Les clients les plus importants peuvent être alimentés non seulement par deux lignes, mais même par deux usines distinctes, et en particulier pour ce qui concerne les Tramways de Nice et la Compagnie du Gaz de Nice, qui constituent les deux plus gros clients du réseau, leur charge est divisée en deux parties réparties normalement entre deux groupes d'usines indépendantes.

A Nice, dans la nouvelle usine de Risso, où convergent les lignes venant des usines du Var et les canalisations souterraines amenant d'une part le courant du Loup, desservant d'autre part la région Beaulieu-Monte-Carlo, et enfin alimentant les sous-

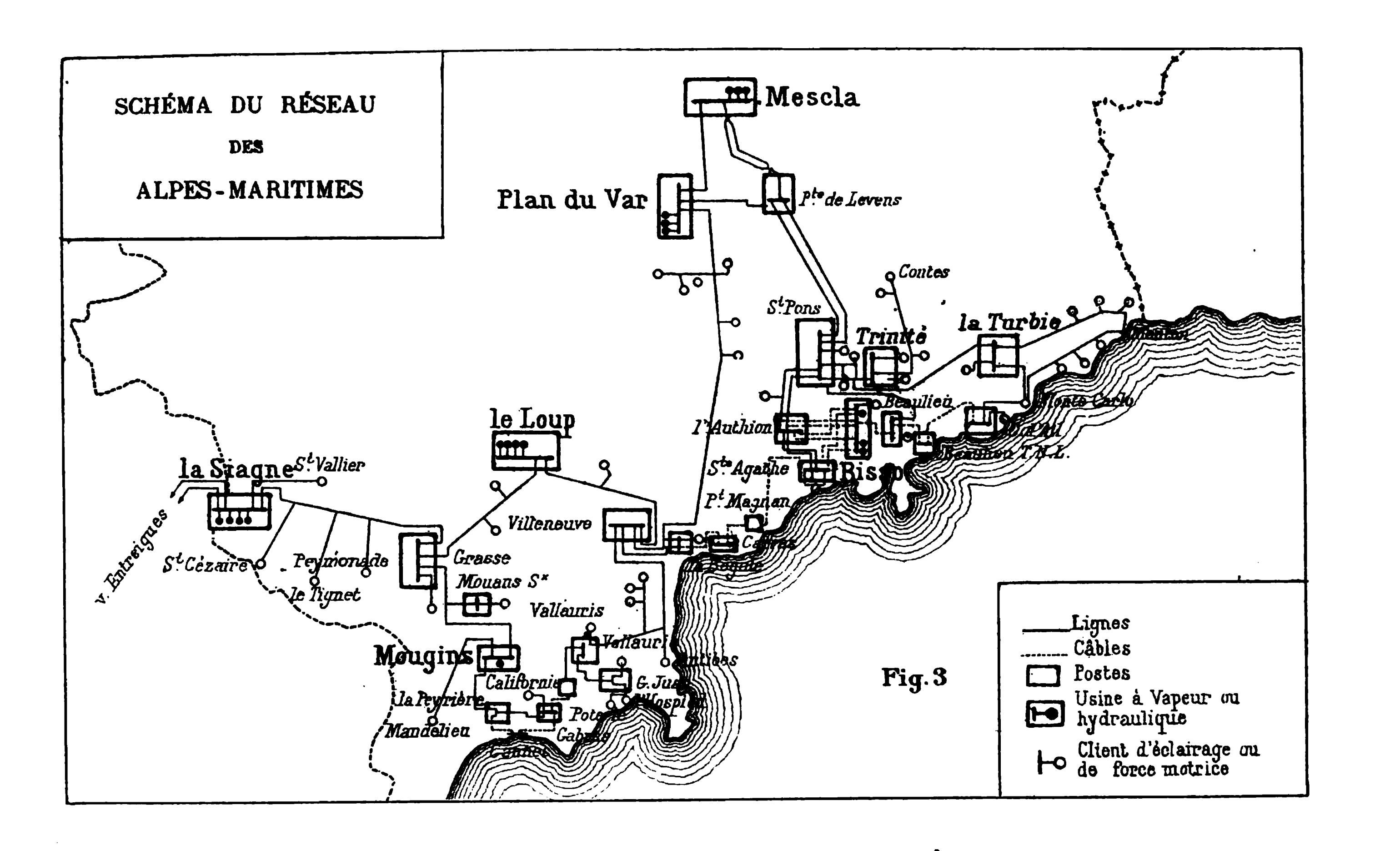

SCHÉMA DU RÉSEAU
DES
ALPES-MARITIMES
Mescla
Plan du Var
Pte de Levens
Contes
St Pons
Trinité
la Turbie
Beaulieu
Monte Carlo
l'Authion
Ste Agathe
Pt Magnan
le Loup
la Siagne
St Vallier
v. Entreigues
St Cézaire
Peymonade
le Tignet
Grasse
Mouans Sx
Villeneuve
Vallauris
Mougins
Californie
la Peyrière
Mandelieu
Antibes
Lignes
Câbles
Postes
Usine à Vapeur ou hydraulique
Client d'éclairage ou de force motrice

Fig. 3

stations de transformation des Tramways et du Gaz, un poste de sectionnement très complet a été établi, muni de jeux d'interrupteurs à deux directions, grâce auquel chaque feeder sortant du poste peut être branché sur une quelconque des usines.

Des dispositions analogues sont prévues dans les sous-stations des Tramways et du Gaz, ainsi que dans les postes établis aux autres nœuds importants du réseau (Plan-du-Var, Saint-Pons, Monte-Carlo supérieur, Grasse, Villeneuve-Loubet, etc.); elles donnent à ce réseau une physionomie toute particulière.

Ces dispositions, destinées à assurer la continuité de la fourniture du courant, ont été complétées par d'autres ayant pour but d'assurer la régularité du potentiel aux divers points d'utilisation.

A cet effet, les usines hydrauliques sont munies de régulateurs automatiques de potentiel combinés pour compenser la chute de tension sur les lignes de transport et maintenir une tension à peu près constante et indépendante de la charge, à la terminaison de ces lignes sur le réseau de distribution au voisinage de Nice.

D'autres régulateurs, d'un type tout spécial, placés l'un à Villeneuve-Loubet, à l'extrémité de la ligne du Loup, et l'autre à Saint-Pons, à l'extrémité de celle venant du Var, permettent de régler dans des limites étendues la tension dans les directions de Cannes et de Monte-Carlo.

Grâce à ces dispositifs, et malgré l'étendue considérable du réseau par rapport à la tension choisie, on a pu obtenir en tous les points une régularité de voltage très satisfaisante qui a permis d'utiliser directement, presque partout, pour l'éclairage, le courant brut fourni par le réseau, sans interposition d'aucune machine transformatrice. C'est ainsi que le courant à 25 cycles pris directement au réseau est employé pour l'éclairage de la banlieue de Nice, d'Antibes, de Beaulieu et de quantité de communes traversées par les lignes de transport de force.

Toutes ces précautions minutieuses et ces dispositions perfectionnées n'ont pas été sans augmenter sensiblement le coût de premier établissement du réseau.

Mais, en matiere de transport de force, la qualité du produit obtenu joue un rôle presque plus important encore que son prix de revient, car il ne se trouve aucune clientèle quand cette qualité vient à pécher au point de vue de la régularité et de la continuité.

Ligne de conduite suivie par l'Énergie Électrique vis-à-vis de sa clientèle.

En développant son réseau dans le département des Alpes-Maritimes, la Société Énergie Électrique a pris pour principe général de n'entrer en conflit avec aucun des intérêts déjà existants sous forme d'entreprises de distribution d'éclairage ou de force motrice. Elle a partout cherché à concilier ces intérêts avec les siens propres. Partout où existaient déjà des entreprises de distribution avec ou sans monopole, elle a cherché des ententes par lesquelles elle fournissait à ces entreprises, devenues ses clientes, le courant en gros, leur laissant le soin de le distribuer en détail. Mais toujours elle a usé de son influence pour obtenir de forts abaissements des tarifs de consommation au profit du public.

Cette ligne de conduite, tout en ménageant ses propres intérêts, a évité à l'Énergie de soulever contre son œuvre aucune inimitié, et elle peut espérer s'être acquis la sympathie de tous.

Cette sympathie est d'ailleurs bien justifiée par les multiples services qu'elle a rendus à la région.

Elle fournit à des prix extrêmement réduits l'éclairage à quantité de communes isolées dans des sites sauvages, qui fussent toujours restées déshéritées sans son intervention.

Elle a rendu possible la création d'un grand réseau de tramways départementaux à traction électrique, qui arrachera bientôt à leur isolement les villages égrenés dans les diverses vallées des Alpes-Maritimes et qui mettra en valeur toutes les beautés naturelles de cette région, presque inconnue encore de la masse de touristes qui se pressent sur le littoral.

Elle a permis également la mise en valeur de ses richesses naturelles par la création de nombreuses industries nouvelles, dont le nombre s'étend chaque jour : fabriques de ciment, minoteries, brasseries, produits céramiques, briqueteries, etc., et qui viennent se grouper autour de son réseau.

Enfin, elle a été l'occasion d'un apport de capitaux considérables dans une région sans vie industrielle et ces capitaux ont fourni des salaires à une nombreuse main-d'œuvre ouvrière.

Elle a donc joué dans le département des Alpes-Maritimes un rôle des plus utiles et on peut dire qu'elle est devenue un des éléments nécessaires de sa prospérité.

Réseau du Var.

Le titre même de la Société Énergie Électrique du Littoral Méditerranéen indique clairement que l'objectif de ses fondateurs n'avait pas été de limiter son champ d'action au seul département des Alpes-Maritimes, mais, au contraire, de l'étendre à toute la zone du littoral et particulièrement dans cette région de Marseille, si éminemment favorable à son industrie.

Les années de crise financière qui suivirent presque immédiatement sa fondation ne permirent pas, toutefois, d'aborder d'un seul coup le programme intégral et le développement se fit par étapes.

La première de ces étapes, après la création du réseau des Alpes-Maritimes, fut celle du réseau du Var, marquée par l'aménagement successif des chutes de l'Argens (à Entraygues) et de la Siagne (au-dessous de Saint-Cézaire).

Le but premier de ce réseau fut l'alimentation de la ville de Toulon, située à 60 km de la première de ces usines et à plus de 100 km de la seconde.

La tension dut donc être choisie beaucoup plus élevée et l'on s'arrêta à celle de 30 000 volts, qui dépassait, à cette époque, toutes les tensions précédemment employées en Europe.

Usine d'Entraygues.

L'usine d'Entraygues utilise une cascade naturelle formée par le lit de l'Argens, très accidenté et pittoresque en ce point.

Un barrage établi un peu au-dessus de cette cascade relève d'environ 2 m le plan d'eau et, grâce à la pente très faible de la rivière en amont, il a permis d'emmagasiner plus de 60 000 m^3 d'eau, qui fournissent le moyen de faire des éclusées et de faire varier, suivant les besoins, le débit dans le canal de dérivation.

Celui-ci n'a que 500 m de longueur et est constitué dans sa plus grande partie par une conduite en ciment armé de 2,90 m de diamètre. Celle-ci se termine par un collecteur en tôle d'acier muni à son extrémité d'une cheminée d'équilibre.

On réalise ainsi une chute de 18 à 19 m, ce qui, avec un débit

dans la conduite de 12 à 15 m³ par seconde, permet d'obtenir une puissance de 2000 à 2500 ch.

Le régime hydraulique de l'Argens est essentiellement variable et il présente pendant l'été des périodes d'étiages souvent très longues durant lesquelles le débit descend parfois au-dessous de 3 à 4 m³. Par contre, pendant l'hiver, il se maintient généralement aux environs de 8 à 10 m³ et, grâce au réservoir, on peut, aux heures de forte charge, obtenir un débit maximum conciliable avec les dimensions de la conduite forcée.

L'aménagement de l'usine comprend trois groupes électrogènes de 1000 à 1100 ch.

Les turbines sont du type Francis double à axe horizontal, fonctionnant avec une très haute aspiration (près de 7,50 m) par suite des crues très fortes de l'Argens, qui ont obligé à tenir le sol de la salle des machines très élevé au-dessus du niveau d'étiage.

Elles tournent à la vitesse de 300 tours par minute et actionnent directement, par accouplements rigides, leurs alternateurs. Ceux-ci sont bobinés pour une tension de 3500 volts et alimentent la ligne de transport de force par l'intermédiaire de transformateurs statiques élevant la tension aux environs de 30000 volts.

Les dispositions mécaniques de cette usine ne diffèrent guère de celles des usines du Var. Au point de vue électrique, elle se distingue :

1° Par la tension beaucoup plus élevée qui a conduit à l'emploi de transformateurs interposés entre les alternateurs et les lignes ;

2° Par l'emploi d'interrupteurs à commande à distance au moyen de servo-moteurs électriques.

Nous trouverons dans les installations postérieures de l'Énergie de nombreuses applications de ces appareils très ingénieusement étudiés et qui ont singulièrement facilité la constitution de l'appareillage des grandes stations centrales modernes ; la première application en a été faite en France, à l'usine d'Entraygues.

Depuis, l'usine a été complétée par un poste de sectionnement muni d'interrupteurs du même genre et où convergent les lignes venant de la Siagne et celles se dirigeant vers Toulon et la région de Marseille.

Enfin, des postes de transformateurs ont été établis au terminus de Toulon et intermédiairement à Gonfaron et à Cuers, pour abaisser la tension à 3500 ou 10000 volts aux divers points

d'utilisation. Tout cet ensemble a été mis en service dans l'année 1904 et a fonctionné depuis d'une manière aussi satisfaisante et régulière que les réseaux à 11 000 volts des Alpes-Maritimes.

Usine de la Siagne.

L'usine d'Entraygues s'est montrée bientôt tout à fait insuffisante à faire face au développement du réseau du Var, qui s'étendait non seulement dans la région de Toulon, mais encore dans celle du Muy, Fréjus et Saint-Raphaël. D'autre part, l'isolement de ce réseau présentait des inconvénients encore accentués par la grande faiblesse du débit de l'Argens durant la période d'été.

Enfin, le développement rapide du réseau des Alpes-Maritimes faisait prévoir la prochaine nécessité de la création de nouvelles sources de force motrice.

Ces diverses raisons conduisirent, dès l'année 1904, à décider l'aménagement de la chute de la Siagne. Cette belle chute, placée aux confins des départements du Var et des Alpes-Maritimes, était parfaitement située pour servir de liaison et d'appoint aux deux réseaux et pour servir de régulateur aux régimes hydrauliques si différents du Var, du Loup et de l'Argens, ainsi qu'aux besoins très sensiblements différents de la clientèle des deux réseaux.

La Siagne, très voisine du Loup, est alimentée par des sources analogues et présente un régime hydrologique tout à fait semblable. Son débit d'étiage est toutefois plus important : il s'abaisse rarement au-dessous de 1 500 l par seconde et se maintient en moyenne entre 2 000 et 2 400 l.

Grâce à la pente rapide de la rivière, une dérivation de 7 500 m a suffi pour créer une chute de 350 m de hauteur.

Le canal d'amenée est prévu pour un débit de 2 400 l par seconde et il aboutit à un grand réservoir permettant d'emmagasiner 11 000 m³ et d'augmenter le débit des conduites forcées aux heures de forte charge.

Ces dernières, au nombre de deux, sont prévues pour un débit total de 3000 l par seconde, permettant d'obtenir une puissance effective de 10 000 à 11 000 ch sur les arbres des turbines.

L'usine est établie au bord de la rivière, au pied d'un grand escarpement rocheux qu'il a fallu entailler pour son établissement. Son aménagement comporte, à l'heure actuelle :

Quatre groupes électrogènes principaux de 2500 ch chacun, avec place pour un cinquième similaire;

Deux groupes de 150 ch pour l'excitation des alternateurs et les services auxiliaires.

Les turbines, du type Pelton à axe horizontal, sont d'un modèle tout nouveau et qui présente plusieurs détails de construction originaux employés en Europe pour la première fois.

Le distributeur est du type à aiguille permettant de faire varier le débit depuis le maximum jusqu'à zéro sans déplacer l'axe du jet ni son angle d'incidence.

Les aubes, rapportées et non pas coulées avec la roue, sont en acier fondu et polies à la meule. Leur vitesse périphérique est très élevée et dépasse 45 m par seconde, mais les dispositions toutes particulières prises pour leur fixation ont été étudiées de manière à leur permettre de résister sans danger même à la vitesse d'emballement, ce qui a été vérifié par l'expérience.

Grâce à cette construction spéciale, il a été possible de réaliser un rendement qui a dépassé 85 0/0 à pleine charge et qui s'est maintenu presque constant à tous les débits jusqu'au tiers de la pleine charge.

Cette construction a été imitée depuis pour les turbines Pelton destinées à de hautes chutes, et notamment pour celles de l'usine de Brusio, en Italie, appartenant à la Société Lombarda.

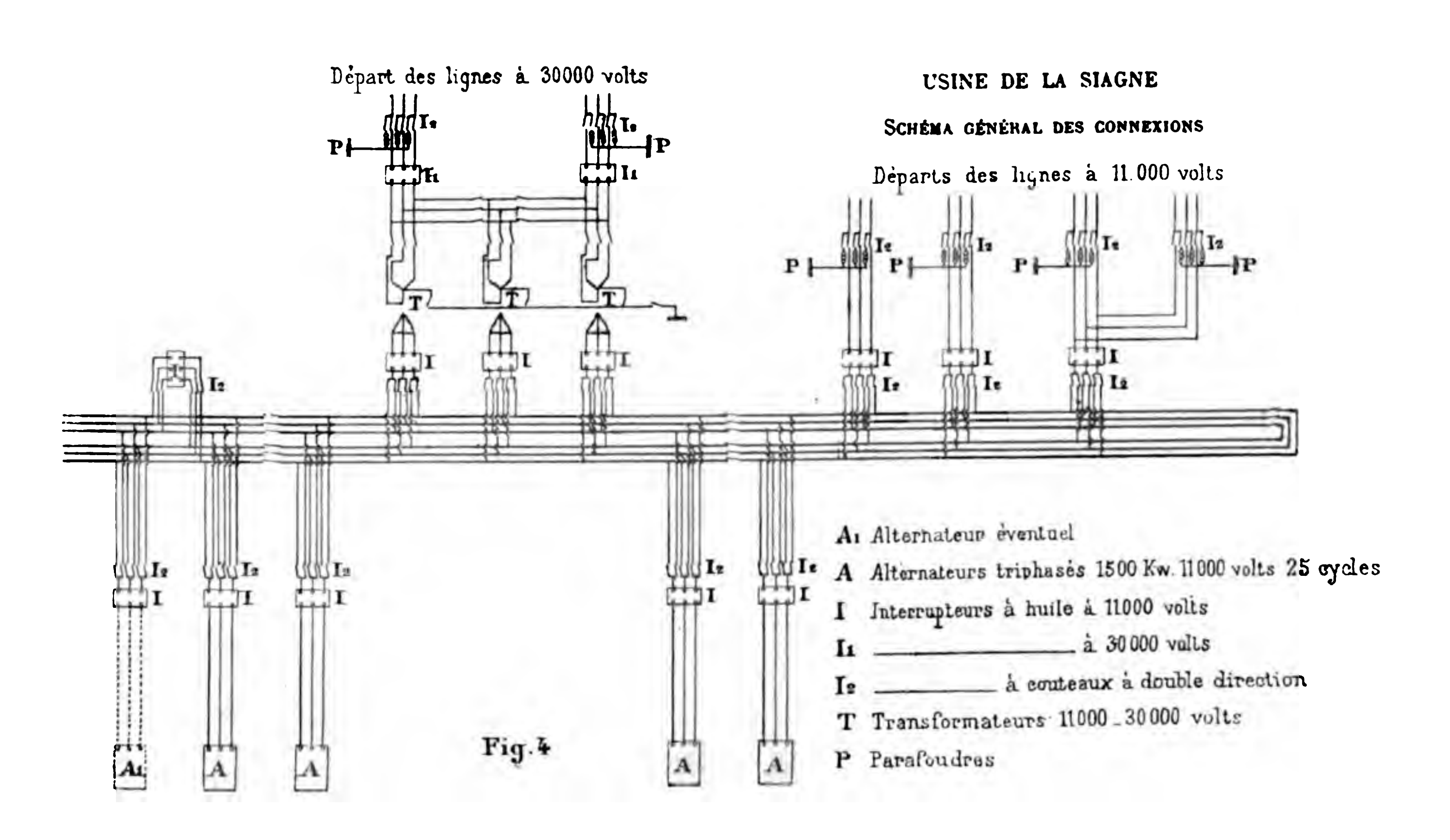
Les régulateurs sont du même système que ceux du Loup, c'est-à-dire du type servo-moteur actionné par la pression de la chute et combiné avec un appareil déchargeur à fermeture progressive évitant les coups de bélier dans les conduites forcées.

Les alternateurs sont directement couplés aux turbines et tournent à la vitesse de 375 tours par minute. Ils sont bobinés pour la tension de 11 000 volts, de manière à pouvoir alimenter directement la partie la plus voisine du réseau des Alpes-Maritimes.

Ils alimentent le réseau du Var par l'intermédiaire d'un poste de neuf transformateurs monophasés, de chacun 750 kilowatts de puissance, groupés trois par trois en triangle du côté 11 000 volts et en étoile du côté 30 000 volts, de manière à constituer trois groupes de 2250 kilowatts.

Ces transformateurs sont du type à bain d'huile avec refroidissement par circulation d'eau dans un serpentin logé à la partie supérieure de l'appareil.

Ils pèsent individuellement près de 10 t, et leur transport,


USINE DE LA SIAGNE
SCHÉMA GÉNÉRAL DES CONNEXIONS
Départ des lignes à 30000 volts
Départs des lignes à 11.000 volts
A1 Alternateur éventuel
A Alternateurs triphasés 1500 Kw. 11000 volts 25 cycles
I Interrupteurs à huile à 11000 volts
I1 ——— à 30000 volts
I2 ——— à couteaux à double direction
T Transformateurs 11000 - 30000 volts
P Parafoudres
Fig. 4

ainsi que celui des grosses pièces des alternateurs, depuis Grasse jusqu'au fond de la vallée de la Siagne, a entraîné des difficultés très considérables.

Le schéma des connexions est figuré par le dessin ci-joint (*fig. 4*).

D'après ce dessin, on peut se rendre compte qu'il y a une double série de barres-omnibus à 11 000 volts, deux départs de lignes à 30000 volts et que les dispositions prises permettent d'alimenter au besoin par l'usine de la Siagne deux et même trois réseaux indépendants et distincts. Des régulateurs automatiques de potentiel permettent d'assurer la constance du potentiel aux centres d'utilisation de deux de ces réseaux.

Il a été fait dans cette usine un emploi général du système d'interrrupteurs à commande à distance par servo-moteurs électriques, aussi bien pour ce qui concerne la basse tension (11 000 volts) que pour la haute (30000 volts).

Les dispositions de ces interrupteurs sont semblables; seules leurs dimensions changent. Tous sont capables de rompre sous plein voltage le courant de pleine charge de tout l'ensemble des machines. Leur fonctionnement est indiqué sur le tableau de distribution au moyen d'indicateurs lumineux.

Vu les grandes puissances mises en jeu et l'importance des installations, de grandes précautions ont été prises pour le cloisonnement des barres-omnibus et des différents circuits. Ce cloisonnement est absolument complet, conformément à la pratique moderne, et donne toute la sécurité possible à l'exploitation.

Cette usine a été mise en service vers le milieu de l'année 1906 et elle a envoyé son courant jusqu'à Marseille, à une distance de plus de 150 km.

Réseau des Bouches-du-Rhône.

Dans la même année où commençait la construction de l'usine de la Siagne, la Société Énergie Électrique, ayant réuni les ressources financières qui lui étaient nécessaires, se décidait à réaliser le programme de ses fondateurs et à étendre vers la région de Marseille le champ de ses opérations.

En examinant la carte, on se rend compte facilement que, dans cette région, deux cours d'eau seulement peuvent, dans un

rayon raisonnable, fournir la puissance nécessaire à une telle entreprise : ce sont la Durance et le Verdon. Ces deux rivières possèdent, comme nous l'avons dit, des régimes différents et leurs chutes présentent des caractéristiques qui peuvent se combiner d une manière analogue à ce que nous avons vu pour le Var et le Loup.

Après s'être assuré une première et importante fourniture de courant grâce à des ententes avec la Compagnie des Tramways et la Compagnie du Gaz et d'Électricité de Marseille, l'Énergie Électrique procéda à l'acquisition des droits immobiliers nécessaires pour l'aménagement de deux puissantes usines hydro-électriques placées sur ces deux rivières.

La première, sur la Durance, au lieu dit « la Brillanne », possédera une puissance de 14000 ch avec une hauteur de chute de 24 m ; la seconde, sur le Verdon, près d'Aiguines, possédera une puissance d'environ 18000 à 20000 ch avec une hauteur de chute de 150 m et un immense bassin d'emmagasinement.

En outre, l'Énergie faisait peu après un accord avec la Société des Forces Motrices de la haute Durance pour l'achat en bloc de toute l'énergie produite par une troisième usine projetée sur la Durance, à 65 km en amont de la Brillanne, au lieu dit « Ventavon » (à mi-chemin entre Sisteron et Gap). Cette dernière usine possédera une hauteur de chute de 50 m et sera aménagée dès les débuts pour une puissance de 22000 ch, pouvant être encore beaucoup augmentée ; une fois terminée, elle constituera l'usine hydro-électrique la plus puissante de France.

A l'heure actuelle, l'usine de la Brillanne est presque terminée, celle de Ventavon est commencée, et les études ainsi que les travaux préliminaires de celle du Verdon activement poussés.

L'ensemble pourra fournir une puissance globale d'au moins 50 à 60000 ch et est destiné à alimenter toute la région jusqu'à Marseille et au Rhône. Vers la basse Durance et au delà du Rhône, cet immense réseau est prolongé par celui d'une Société filiale, le Sud Électrique, qui s'étend dans le Vaucluse et partie des départements du Gard et de l'Hérault.

Ce réseau du Sud Électrique sera alimenté vers l'est, à Arles, par la Société Énergie Électrique, et vers l'ouest, à Sommières, par la Société des Forces Motrices de la Vis.

La grande étendue du territoire à desservir et le désir de réserver pour l'avenir toutes les facilités de développement par la possibilité d'utilisation de chutes encore plus éloignées, ont con-

duit à l'adoption d'une tension encore plus élevée que celle adoptée pour le réseau du Var.

Après mûr examen de la question, le choix s'est porté sur la tension de 50 000 volts, chiffre qui eût paru extravagant quelques années auparavant, mais qui se concilie maintenant très bien avec les progrès réalisés par les machines et l'appareillage électriques; il constitue en ce moment un record pour les transports de force européens à courants alternatifs.

Bien entendu, cette tension élevée est réservée uniquement aux grandes artères de transmission, et la distribution se fera sous la tension modérée de 13 500 volts, analogue à celle employée avec plein succès dans le département des Alpes-Maritimes. L'abaissement de 50 000 à 13 500 volts sera obtenu dans quelques postes de transformation convenablement situés et dont trois sont à l'heure actuelle à peu près complètement terminés :

L'un à Allauch, près de Marseille, contenant :

Douze transformateurs monophasés de 1 000 kilowatts;

Le second à Arles contenant :

Six transformateurs monophasés de 750 kilowatts;

Le troisième à Saint-Maximin contenant :

Trois transformateurs monophasés de 750 kilowatts.

Enfin, trois puissantes usines à vapeur de secours et d'appoint contribueront, dès les débuts, à l'alimentation de ce vaste réseau.

La première, située à Arles et appartenant en propre à l'Énergie, contient trois groupes turbo-alternateurs Curtis de 1 500 ch. Elle vient d'être terminée et entrera incessamment en service.

La seconde, située à Marseille et appartenant à la Compagnie des Tramways, contient, à l'heure actuelle, cinq groupes électrogènes de 1 500 ch, et doit prochainement être renforcée par un sixième, du type Curtis, en cours d'exécution.

La troisième, également située à Marseille, sur les terrains de la Compagnie du Gaz, et appartenant à cette dernière, contient, à l'heure actuelle, trois groupes turbo-alternateurs Curtis de 1 500 ch, et doit être prochainement renforcée par un quatrième de même puissance et un cinquième beaucoup plus important, de 5 000 ch.

L'Énergie, ayant, de par ses ententes, la disponibilité de ces trois usines, aura ainsi sous sa main une puissance vapeur totale

de 25 000 ch, qui assurera la sécurité parfaite de son exploitation.

Ces diverses usines, toutes entièrement modernes et munies de tous les derniers perfectionnements, seront susceptibles de fournir l'énergie de secours et d'appoint dans les conditions économiques les plus avantageuses.

Ce serait sortir du cadre de cet exposé que d'essayer de décrire les installations multiples que comporte un ensemble aussi vaste, et qui sont cependant presque toutes intéressantes dans leurs détails par le nombre et la nouveauté des problèmes résolus.

Je me bornerai à dire quelques mots de l'usine de la Brillanne qui va, la première, être mise en service dans un délai très proche, et à indiquer les caractères distinctifs de ces nouvelles installations, notamment au point de vue des lignes et de la disposition du réseau.

Usine de la Brillanne.

Cette usine est alimentée par une dérivation établie sur la rive gauche de la Durance, dont la longueur totale atteint environ 9 km depuis l'avant-prise jusqu'au débouché du canal de fuite.

Dans la partie moyenne de son cours, la Durance (comme l'a expliqué M. l'Ingénieur des Ponts et Chaussées Wilhelm) présente deux étiages bien caractérisés : l'un à la fin de l'été, provenant de l'épuisement des réserves de neige et de l'abaissement de la température ; l'autre au milieu de l'hiver, quand les pluies ont fait place à la neige et que la rigueur du froid dans les parties élevées du bassin tarit les sources glacières.

Dans la région de la prise d'eau, les débits aux deux étiages sont à peu près égaux, et on peut les évaluer à 60 m^3 environ, avec des minima assez rares de 40 à 45 m^3.

Le canal de dérivation a été construit pour un débit normal de 60 m^3 par seconde, mais il sera facile d'établir, attenant à la chambre d'eau, un réservoir permettant d'emmagasiner 200 000 m^2 et, par suite, d'augmenter sensiblement la puissance de l'usine aux heures de consommation maxima.

La prise d'eau établie à 1 600 m en amont du pont d'Oraison, au pied d'une falaise rocheuse contre laquelle viennent naturellement battre les eaux de la rivière, ne comporte aucun ouvrage permanent en travers de son lit.

Cet ouvrage se compose de quatre pertuis de 10 m de largeur, dont les seuils sont arasés à 1,50 m au-dessous de l'étiage; le niveau d'eau dans l'avant-canal laissera disponible à l'étiage une chute d'environ 1 m destinée à déterminer l'appel des eaux. Les seuils des pertuis peuvent d'ailleurs être surélevés au moyen de vannes garde-gravier formées chacune de deux éléments de 1 m de hauteur, qui seront successivement descendus au moment des crues.

L'avant-canal, aussitôt après la prise, a 670 m de longueur; il est limité du côté de la berge par un mur de soutènement, et du côté de la rivière par un mur submersible dans lequel on a réservé deux prises latérales de secours normalement fermées par des barrages à poutrelles. Sa largeur est de 43 m sur environ 250 m, et il forme, dans cette partie, une vaste chambre à graviers, dans laquelle pourra fonctionner un appareil de dragage. Au delà, sa largeur se rétrécit sans toutefois descendre au-dessous de 20 m, jusqu'au déversoir régulateur déchargeant à la Durance l'excédent des eaux captées.

L'ouvrage de garde et de réglage du débit du canal se compose de quatre pertuis voûtés de 3 m de largeur, fermés par de puissantes vannes métalliques dont la manœuvre se fait d'une plate-forme arasée à plus de 1 m au-dessus des plus hautes eaux connues.

Le canal d'amenée proprement dit possède une longueur de 6600 m jusqu'à la chambre d'eau de l'usine : il est établi avec une largeur moyenne d'environ 10 m, un tirant d'eau de 3 m, et présente une section d'écoulement de 30 m². Il est entièrement maçonné avec enduits lissés, et possède une pente de 35 cm par kilomètre, suffisante pour réaliser le débit prévu de 60 m³ par seconde.

Sur tout son parcours, il est établi sur des terrains essentiellement consistants, et avec toutes garanties de solidité. En cours de route, avant de franchir le ravin du Lauzon, il traverse un réservoir de 12000 m² de superficie, muni d'un deuxième et puissant réservoir et d'un système de bypass permettant de mettre le déversoir hors circuit pour les opérations de vidange et d'enlèvement des apports.

La chambre d'eau, qui présente une superficie d'environ 8000 m², est divisée en deux parties par une grille de 200 m² de surface utile. La partie amont comporte un troisième déver-

soir de 100 m de longueur et trois vannes de fond pour la vidange des vases et le nettoyage du pied de la grille.

Dans la partie aval débouchent les conduites forcées au nombre de cinq, en tôle d'acier de 2,70 m de diamètre, et une sixième de 1,20 m de diamètre, toutes munies de vannes d'isolement.

Le canal de fuite possède un développement de plus de 1 000 m, il possède une section d'écoulement de 25 m², une pente de 50 cm par kilomètre, et il est entièrement revêtu de maçonnerie dans sa partie mouillée.

Au sortir des turbines, les eaux s'épanouissent dans une vaste chambre creusée en déblai où s'écoulent également les eaux venant du déversoir et des vannes de fond.

L'usine génératrice construite entre le pied de la terrasse et la voie du P.-L.-M., à laquelle elle est raccordée par un embranchement, comporte :

Cinq groupes électrogènes principaux de 3 500 ch;

Trois groupes auxiliaires de 350 ch.

L'ensemble forme un bâtiment de 61 m de longueur sur 15,50 m de largeur.

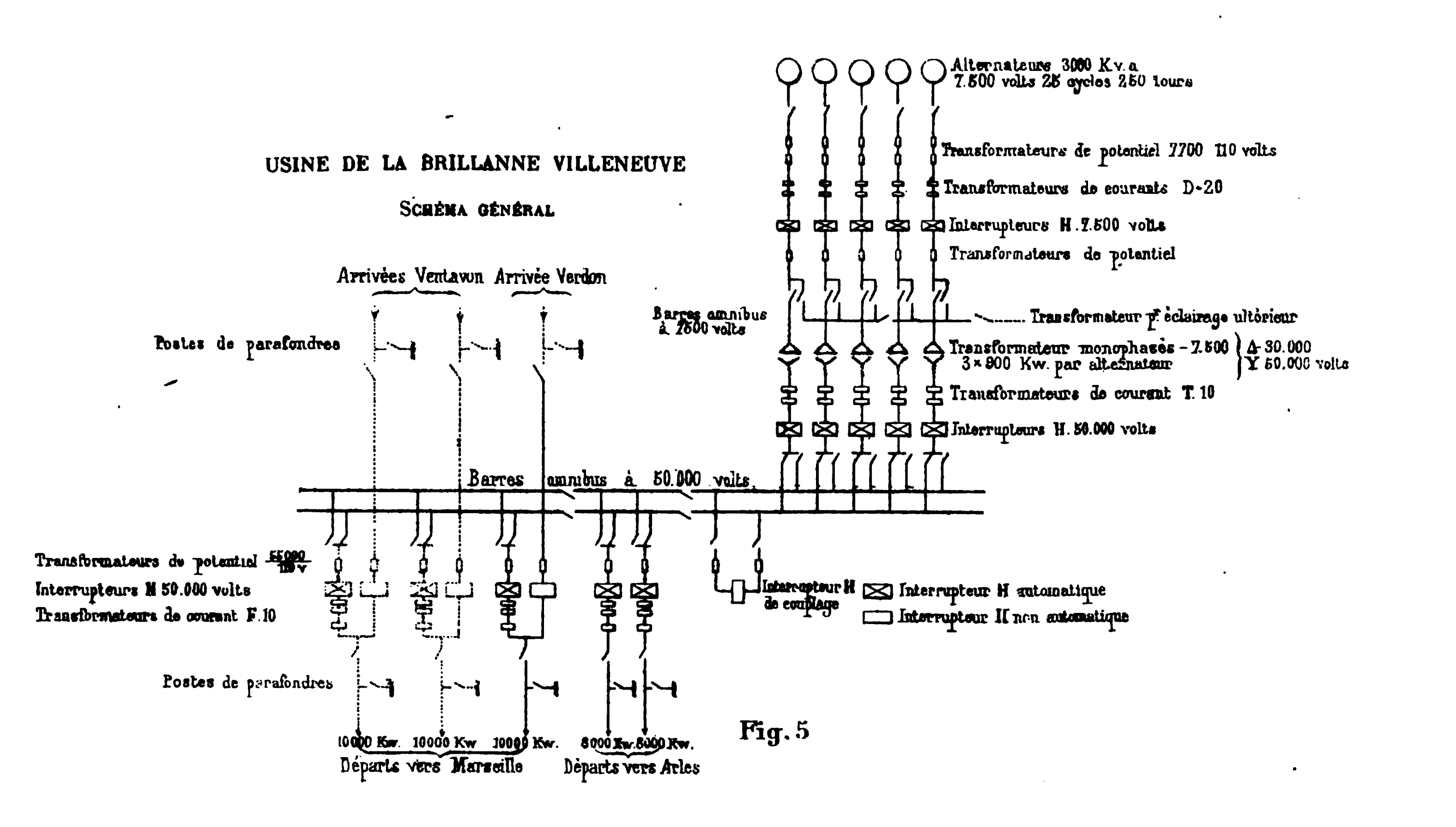
Chaque groupe principal est desservi par une conduite forcée de 2,70 m; les trois groupes auxiliaires sont desservis par la sixième conduite forcée de 1,20 m.

Toutes les turbines sont du type Francis double, à axe horizontal. Les turbines principales tournent à la vitesse de 250 tours par minute et peuvent chacune débiter 15 à 16 m³ par seconde. L'arrivée d'eau est double et se fait par la partie inférieure; la décharge se fait au moyen d'une tubulure unique et d'un aspirateur en béton s'ouvrant dans la chambre de fuite.

Ces turbines ont été établies du côté canal de fuite, de manière à réduire le plus possible les fouilles à grande profondeur et les épuisements.

Toutes ces turbines sont munies de régulateurs à servo-moteurs actionnés par l'huile sous pression de 25 kg; cette huile est fournie par quatre pompes à trois corps commandées elles-mêmes par deux petites turbines Pelton de 24 ch tournant à 60 tours.

Les alternateurs principaux sont directement reliés aux turbines par accouplements rigides. Ils sont bobinés pour la tension de 7 500 volts, la fréquence de 25 périodes, et sont du type ordinaire à induit fixe et inducteurs tournants.


USINE DE LA BRILLANNE VILLENEUVE
SCHÉMA GÉNÉRAL
Arrivées Ventavon
Arrivée Verdon
Postes de parafondres
Alternateurs 3000 Kv.a
7.500 volts 25 cycles 250 tours
Transformateurs de potentiel 7700 110 volts
Transformateurs de courants D-20
Interrupteurs H. 7.500 volts
Transformateurs de potentiel
Barres omnibus à 7500 volts
Transformateur p.r éclairage ultérieur
Transformateur monophasés - 7.500
3×900 Kw. par alternateur
Δ 30.000
Y 50.000 volts
Transformateurs de courant T. 10
Interrupteurs H. 50.000 volts
Barres omnibus à 50.000 volts.
Transformateurs de potentiel 55000/110 v
Interrupteurs H 50.000 volts
Transformateurs de courant F.10
Interrupteur H de couplage
Interrupteur H automatique
Interrupteur H non automatique
Postes de parafondres
10000 Kw. 10000 Kw 10000 Kw.
Départs vers Marseille
8000 Kw. 8000 Kw.
Départs vers Arles
Fig. 5

Quant aux turbines accessoires, elles actionnent :

L'une un groupe constitué par une dynamo excitatrice de 200 kilowatts et une dynamo pour services auxiliaires de 50 kilowatts ;

L'autre, un alternateur de 250 kilovolts-ampères enroulé pour tension de 13 500 volts;

La troisième (servant de réserve aux deux autres), un groupe et un alternateur semblables.

Les deux alternateurs de 250 kilovolts-ampères sont destinés à faire le service de l'éclairage des villages et localités environnant l'usine.

Il est à noter que les transformateurs élevant la tension des alternateurs, ainsi d'ailleurs que tout l'appareillage de l'ensemble, sont logés dans un poste séparé de l'usine et construit de l'autre côté de l'aqueduc de décharge du déversoir, à un niveau sensiblement plus élevé.

C'est là une originalité que l'on retrouve aux usines d'Arles et de Ventavon, et qu'a seul pu permettre l'emploi généralisé d'interrupteurs à commande à distance.

Le schéma de connexions de tout l'ensemble est indiqué dans ses grandes lignes par le croquis ci-joint *(fig. 5)*.

D'après ce schéma, on voit que les transformateurs, au nombre de quinze, d'une puissance individuelle de 900 kilowatts, sont divisés par groupes de trois affectés chacun au service d'un alternateur ; toutefois, des barres de transfert à 7 500 volts ont été prévues pour permettre au besoin de brancher un alternateur quelconque sur un autre groupe de transformateurs.

Chaque unité de 2 700 kilovolts-ampères ainsi constituée peut être reliée à l'une ou à l'autre de deux séries de barres-omnibus à 50 000 volts; sur ces barres peuvent également se brancher les arrivées de lignes venant des usines de Ventavon et les départs vers Marseille et Arles, de telle sorte que la puissance totale du réseau peut y être concentrée, puis distribuée de ce point.

Les dispositions prises ont été étudiées de manière à permettre :

Soit de faire fonctionner d'une manière indépendante les lignes venant du Verdon et de Ventavon en les prolongeant par des lignes se dirigeant d'une manière indépendante vers Arles et Marseille ;

Soit de relier en parallele sur l'une de ces lignes tout ou partie des alternateurs de la Brillanne.

Elles permettent toutes les combinaisons d'exploitation possible ; les différentes lignes d'utilisation peuvent, soit rester distinctes, être alimentées par des alternateurs distincts d'une des trois usines et alimenter elles-mêmes des réseaux d'utilisation distincts, soit être associées entre elles, de manière à former telle combinaison qui pourra être jugée désirable.

Les figures 1 et 2 de la planche 142 jointe au présent exposé montrent clairement la disposition intérieure du poste et de l'appareillage établis d'après les principes modernes des installations de grande puissance.

Les transformateurs du type à huile à refroidissement par circulation d'eau sont établis au rez-de-chaussée d'une des ailes du bâtiment. Ils sont logés dans des cellules permettant de les isoler par groupes de trois, de manière à supprimer tout danger d'incendie général. Dans l'autre aile se font les arrivées et départs de lignes à 50 000 volts, chaque départ étant muni d'un poste de parafoudres type à intervalles multiples.

Au rez-de-chaussée des deux ailes se trouvent les deux séries de barres-omnibus à 50 000 volts cloisonnées avec un soin tout particulier et portées par des isolateurs analogues aux isolateurs de lignes. Au-dessus de ces barres se trouvent les interrupteurs de sectionnement permettant de modifier les connexions des différents circuits.

A l'étage supérieur se trouve l'appareillage proprement dit, constitué essentiellement par des interrupteurs à huile à commande par moteurs électriques. Les interrupteurs pour les circuits à 50 000 volts sont analogues à ceux déjà employés à l'usine de la Siagne, mais frappent par leurs énormes dimensions.

De même que pour les barres-omnibus, les différentes phases de ces interrupteurs sont très soigneusement cloisonnées. La rupture est double pour chaque phase et se produit à l'intérieur de cylindres remplis d'huile. Elle s'effectue brusquement sous l'action de ressorts qui sont ensuite bandés par les moteurs de commande.

Le fonctionnement des interrupteurs est indiqué sur le tableau de commande placé dans l'usine, par des avertisseurs lumineux constitués par deux lampes de couleurs différentes, dont l'une s'allume à l'ouverture et l'autre à la fermeture.

Enfin, un tableau de contrôle placé dans l'usine reproduit par indications lumineuses toutes les connexions établies au moyen des interrupteurs de sectionnement à commande à la main, de manière à éviter d'une manière absolue toute chance d'erreur ou de fausse manœuvre qui aurait des conséquences désastreuses avec des circuits d'une aussi colossale puissance.

Signalons enfin que le réglage de la vitesse se fait également depuis le tableau au moyen de petits moteurs électriques agissant sur les régulateurs des turbines, de telle sorte que l'homme du tableau possède, concentrés sous sa main, tous les moyens de contrôle et de commande de l'ensemble des appareils de l'usine et du poste.

Les mêmes principes ont été observés pour l'établissement des grands postes établis aux extrémités des lignes de transport de force à Allauch et à Arles *(fig. 6)*.

Les dessins ci-joints indiquent, à titre d'exemple, la disposition du poste d'Allauch près de Marseille.

Disposition des lignes.

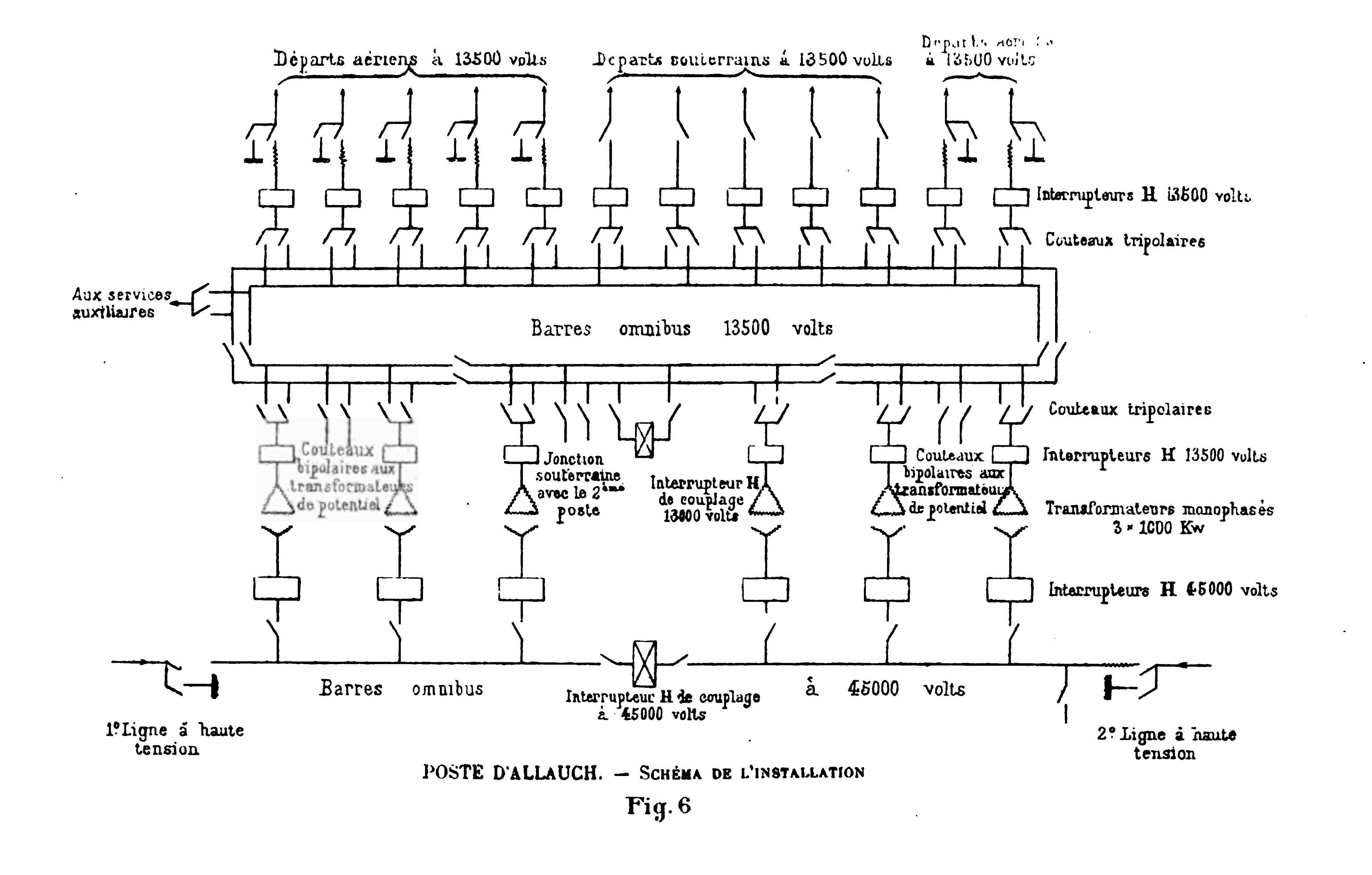
La très haute tension choisie a entraîné une étude très approfondie de la disposition des lignes principales. D'une manière générale, les tracés ont été étudiés en lignes droites sans s'astreindre à suivre les routes, mais en évitant les forts accidents de terrains pouvant rendre trop difficile le transport du matériel, les crêtes susceptibles d'exposer les conducteurs aux coups de foudre, et enfin les trop longues traversées de bois. Pour ces artères principales, il a été fait emploi presque exclusif de pylônes métalliques espacés de 70 à 75 m, et parfois même davantage. Ces pylônes, d'une hauteur de 11 à 12 m au-dessus du sol, sont en une ou deux pièces, suivant qu'il était plus ou moins utile d'en faciliter les moyens de transport.

En général, ils portent six conducteurs :

Trois destinés aux artères à 50 000 volts et formés de câbles en cuivre de 65 mm³ de section utile avec âmes en jute ;

Trois destinés aux lignes de distribution à 13 000 volts et formés de fils de cuivre de 6 à 9 mm de diamètre.

Les conducteurs principaux sont disposés l'un au sommet du poteau, les deux autres sur une grande traverse métallique et formant avec le premier un triangle équilatéral d'environ 1,75 m de côté.



POSTE D'ALLAUCH. — SCHÉMA DE L'INSTALLATION

Fig. 6

Les conducteurs à 13500 volts sont établis en dessous des lignes principales.

Les isolateurs à 50000 volts, en porcelaine, d'un type tout spécialement étudié pour ces installations, possèdent des dimensions qui n'avaient guère été encore approchées en Europe pour ce type d'appareils; ils ont 0,300 m de largeur sur 0,300 m de hauteur et pèsent sans leur support environ 8 kg la pièce.

Ils sont composés de trois cloches distinctes assemblées entre elles et au support métallique de l'isolateur par un scellement au ciment de Portland. Ces cloches sont cuites au four séparément et des soins tout particuliers ont été pris pour leur vérification avant l'assemblage de l'isolateur et pour leurs essais finals.

Chaque cloche a été essayée sous une tension de 65 à 70000 volts et chaque isolateur complet sous celle de 120000 volts.

D'autres essais faits sous un arrosage équivalent aux plus fortes pluies d'eau possibles ont permis de constater qu'aucun arc ne s'amorçait au-dessous de 65000 volts appliqués entre la tête de l'isolateur et son support, ni au-dessous de 120000 volts appliqués entre la tête de l'isolateur et son support, ni au-dessous de 120000 volts appliqués entre têtes de deux isolateurs voisins placés dans les conditions des isolateurs de lignes.

Le coefficient de sécurité adopté est donc suffisant pour écarter toutes craintes concernant l'aptitude de ces isolateurs à supporter leurs tensions de service, et il est probable que celles-ci pourraient même être sensiblement augmentées sans inconvénient.

L'ensemble des lignes à haute tension présentera un développement de près de 600 km et donnera lieu à des effets de capacité très importants. Toutefois, cette capacité, à laquelle viendra s'ajouter celle de l'important réseau souterrain de Marseille, loin d'être nuisible, aura pour résultat d'améliorer sensiblement le facteur de puissance à pleine charge de l'ensemble du réseau, et les calculs préliminaires permettent d'affirmer que celui-ci restera toujours compris entre 0,90 et l'unité aux heures de puissance maxima.

Clientèle du nouveau réseau.

Ces nouvelles et grandioses installations entreront en service dans quelques mois; en dehors de ses gros clients tels que le Sud Électrique, les Compagnies de Tramways et du Gaz de Marseille, elles ont déjà une clientèle très nombreuse et tres variée

prête à absorber, et bien au delà, les puissances hydrauliques qui pourront d'abord être disponibles. Cette clientèle se compose de fabriques de ciments, de minoteries, de charbonnages, d'ateliers de construction et de toute la variété des industries de Marseille. Parmi ces clients, on peut en citer plusieurs dont la puissance individuelle dépasse 1 000 ch, qui étaient aussi bien outillés que possible pour la production économique de leur énergie et qui, cependant, ont jugé préférable de l'emprunter au nouveau réseau.

Ces divers clients présentent les régimes de consommation les plus variés, les uns fonctionnant jour et nuit sans discontinuité, les autres ne fonctionnant que de jour, les uns ayant un régime régulier toute l'année, les autres un régime varié avec les saisons, et tous ayant les utilisations annuelles les plus diverses.

Enfin, les puissances absorbées sont des plus différentes, et à côté de la grosse industrie consommant des centaines et même des milliers de chevaux, on trouve le petit artisan n'employant qu'une fraction de cheval.

Pour s'adapter à des besoins aussi variés, il était impossible d'établir une tarification unique et rigide et il a fallu, au contraire, donner à cette tarification une extrême souplesse capable de se prêter aux variétés infinies des besoins de la consommation

Les progrès réalisés ces dernières années dans la fabrication des compteurs (progrès dont notre collègue, M. Brocq, avait récemment l'occasion de nous entretenir dans sa communication si bien documentée) ont donné à cet égard des facilités précieuses.

Les principales combinaisons offertes par l'Énergie Électrique à ses clients ont été les suivantes :

1° Tarif simple au compteur (principalement applicable aux Compagnies de Tramways dont le régime est régulier et bien déterminé à l'avance);

2° Tarif mixte comportant une prime fixe annuelle proportionnelle à la puissance maxima demandée et une redevance par kilowatt-heure consommé (principalement applicable aux réseaux d'éclairage comportant des groupes de transformation à courant continu, des batteries d'accumulateurs et des machines de secours);

3° Forfaits simples basés sur la puissance maxima demandée, avec distinction suivant que cette puissance est demandée jour

et nuit ou seulement de jour (applicable aux industries à fonctionnement très régulier et déterminé à l'avance);

4° Forfaits avec faculté de dépassement de la puissance maxima dans une proportion déterminée. L'énergie fournie au delà de la puissance maxima est mesurée par un compteur spécial dit compteur à dépassement, et taxée suivant un tarif au kilowatt-heure;

5° Double tarif au moyen de compteurs change-tarifs enregistrant d'une manière distincte l'énergie consommée à certaines heures de forte consommation du réseau, et celle consommée le reste de la journée;

6° Combinaison du double tarif avec les forfaits à dépassements et les tarifs mixtes, etc.

Dans beaucoup de cas, pour la fourniture en gros du courant à des Compagnies de distribution en détail, l'Énergie a admis un simple partage dans une proportion déterminée des recettes réalisées, avec faculté pour son client de recourir au bout d'un certain temps à l'une des tarifications ci-dessus.

Il n'est pas inutile de faire remarquer qu'il serait presque impossible à une administration de l'État, départementale ou communale, exploitant un réseau de transport de force, de posséder une telle souplesse dans sa tarification et de se prêter aussi étroitement aux besoins de sa clientèle. Cette souplesse est indispensable au succès commercial de ce genre d'entreprises et elle exige dans leur direction une expérience consommée et une connaissance parfaite de toutes les répercussions entraînées par les modifications apportées aux tarifs.

Conclusion.

Pour son établissement dans la région de Marseille, l'Énergie Électrique s'est trouvée à même de profiter de toute l'expérience acquise par elle dans ses exploitations des Alpes-Maritimes et du Var; grâce aux études approfondies qui ont précédé la création de ses nouvelles installations, il est permis d'espérer qu'elle obtiendra le même succès et qu'elle jouera sous peu, dans les Bouches-du-Rhône et la Provence, un rôle aussi utile et bienfaisant que sur le reste du littoral, mais sur une échelle autrement

vaste et importante. A ce point de vue, elle constituera un exemple presque unique en France, du moins à l'heure actuelle, car déjà se multiplient dans d'autres régions des organisations similaires s'inspirant de son exemple.

Les grands résultats qu'elle a pu atteindre en si peu de temps sont certainement dus pour une grosse part à l'appui précieux que la Société Énergie Électrique a constamment trouvé tant au point de vue financier qu'au point de vue technique auprès de ses fondateurs, mais le principal mérite en revient incontestablement aux qualités supérieures, au zèle persévérant, aux vues larges des hommes éminents qu'elle a eu l'heureuse fortune d'avoir à sa tête dans les personnes de son Président et de son Administrateur délégué, et auxquels je suis heureux de pouvoir rendre cet hommage public.

En terminant cet exposé, je ne crois pas inutile de faire remarquer que ces grands résultats ont pu être obtenus sous le régime actuel des distributions d'énergie, c'est-à-dire en mettant à profit la liberté d'action laissée par les lois et règlements actuellement en vigueur.

Je me permettrai donc, comme conclusion, d'émettre modestement le vœu que les lois nouvelles en préparation, loin de contrarier, ne fassent qu'aider l'essor d'une industrie utile au premier chef et dont on n'est plus à compter les bienfaits envers le pays.

CHRONIQUE

N° 331

SOMMAIRE. — Les locomotives à l'Exposition de Milan (*suite et fin*). — Charles H. Haswell. — Un transport aérien dans l'Argentine. — Renflouement d'un navire par l'air comprimé. — Équerre hyperbolique Morin. — Le trafic du Simplon.

Les locomotives à l'Exposition de Milan (*suite et fin*).

LOCOMOTIVES ITALIENNES.

La section italienne comptait, à l'Exposition de Milan, 10 locomotives provenant de quatre ateliers de construction, savoir : Ansaldo. Armstrong et Cie, à Sampierdarena, la Société Breda, à Milan, les Officine Meccaniche précédemment Miani, Silvestri et Cie, à Milan et les Costruzione Meccaniche, à Saronno. Nous allons donner une description succincte de ces diverses locomotives.

Ansaldo Armstrong et Cie. — Ces ateliers avaient trois locomotives à l'Exposition. La première est une forte machine à trois essieux accouplés avec essieu porteur à l'avant, dans laquelle la liaison horizontale entre cet essieu et le premier essieu accouplé s'opère par un système dérivé du balancier Helmholtz. C'est une locomotive compound à deux cylindres intérieurs inclinés actionnant le second essieu accouplé. Le démarrage s'opère au moyen d'un dispositif du système de Borries.

Les tiroirs cylindriques sont à l'extérieur, actionnés par un mécanisme Walschaerts également extérieur dans lequel le levier d'avance est actionné à sa partie inférieure, non par la crosse du piston comme d'habitude, puisque les cylindres sont intérieurs, mais par une bielle articulée sur une contre-manivelle extérieure convenablement calée. Le rapport de volumes des cylindres est de 2,5.

Les cylindres de cette machine ont 0,430 et 0,680 m de diamètre avec 0,700 m de course. Les roues accouplées ont 1,850 m et les roues de support 0,950 m ; les essieux accouplés sont écartés de 4,200 m et les essieux extérieurs de 6,750 m.

La chaudière, timbrée à 16 kg a une grille de 2,4 et une surface de chauffe totale de 163 m² dont 10 pour la boîte à feu ; les tubes sont du type Serve. Cette machine pèse, à vide, 50 000 kg et en service 54 600 kg dont 43 800 servent à l'adhérence. Le tender, à trois essieux, pèse 30 000 kg avec 15 000 l d'eau et 3 000 kg de charbon.

Cette locomotive appartenant aux chemins de fer de l'État italien, d'un modèle étudié par le bureau des études de Florence de l'ancien réseau de l'Adriatique, est faite pour remorquer les trains de voyageurs sur les lignes à profil accidenté ; elle peut atteindre des vitesses de 100 km à l'heure.

La seconde machine, appartenant également aux chemins de fer de l'État italien, avait été étudiée par le constructeur pour le réseau de la Sicile ; elle est portée sur trois essieux accouplés et deux essieux porteurs à déplacement radial, l'un à l'avant et l'autre à l'arrière. C'est une machine-tender dont les caisses à eau sont sur les côtés de la chaudière, mais ont une faible hauteur au-dessus du niveau de la plate-forme. Elle est du système compound à deux cylindres extérieurs qui actionnent l'essieu accouplé du milieu. Le démarrage est du type Gölsdorf. Les tiroirs placés sur les cylindres sont actionnés par des mécanismes se rattachant au système Walschaerts mais qui rentrent dans la variété dite de Heusinger de Waldegg en ce que la coulisse est du côté de l'essieu moteur opposé au cylindre ; cette disposition, très peu usitée, nécessite une bielle de commande du tiroir d'une longueur excessive.

Les cylindres ont 0,460 et 0,708 m de diamètre avec 0,600 de course. Les roues accouplées ont 1,500 et les roues de support 0,830 m ; les essieux accouplés sont écartés de 3,800 m et les essieux extérieurs de 8,400 m.

La chaudière est timbrée à 13 kg, la grille a 2,98 m² et la surface de chauffe totale de 136 m² dont 12 sont fournis par le foyer. La machine pèse vide 47 000 kg et en service, avec 8 000 l d'eau et 3 000 kg de charbon, 64 000 kg dont 42 000 de poids adhérent. La vitesse maxima est de 70 km à l'heure.

La troisième locomotive est une machine à voie de 0,75 m pour chemin de fer de campagne appartenant au génie militaire ; elle présente la particularité intéressante de fonctionner par adhérence simple et au besoin par adhérence artificielle sur un troisième rail dans le système connu sous le nom de Fell.

La machine est portée sur trois essieux accouplés et un essieu à déplacement radial à l'arrière. Deux cylindres extérieurs attaquent l'essieu accouplé d'arrière ; les longerons sont extérieurs aux roues, les tiroirs sont sur les cylindres, actionnés par des mécanismes Walschaerts extérieurs. La chaudière est de fortes dimensions, elle porte au-dessus un réservoir cylindrique à axe horizontal. Une main courante règne autour pour qu'on puisse circuler sur une plate-forme qui existe de chaque côté et à l'avant et à l'arrière; le mécanicien se tient à l'avant. Deux paires de galets horizontaux embrassent et serrent au besoin le rail central, les axes de ces galets sont commandés, au moyen de roues d'angle, par deux des essieux accouplés.

Les cylindres ont 0,330×0,400 m, les roues à adhérence 0,650 et les roues de support 0,450 m de diamètre. La chaudière est timbrée à 15 kg, elle a une grille de 0,8m² et une surface de chauffe de 46,5 m². Le poids à vide est de 15 800 kg et le poids en service de 17 800 kg.

Cette machine est indiquée comme pouvant remorquer, par simple adhérence, 50 t sur rampe de 30 0/00 avec courbes de 50 m de rayon à la vitesse de 16 km à l'heure. Avec l'addition de la pression sur le rail central, elle remorque la même charge sur rampe de 85 à la vitesse de 6 km à l'heure ; elle peut passer dans des courbes du rayon minimum de 15 m.

Société E. Breda et Cie, a Milan. — Ces ateliers n'exposaient pas moins de cinq locomotives. La première est une machine des chemins de fer de l'État italien du modèle exposé à Paris en 1900, à trois essieux accouplés et un bogie sous le foyer et l'abri qui se trouvent en avant dans le sens ordinaire de la marche. C'est en réalité une compound à deux cylindres, mais chaque cylindre se trouve dédoublé en deux de chaque côté de la machine, un en dedans l'autre en dehors du longeron; chaque paire a un tiroir cylindrique unique et les deux cylindres qui la constituent actionnent des manivelles à 180° l'un et l'autre. Une machine de ce type figurait à l'Exposition de Paris en 1900, et nous l'avons décrite à l'époque, ce qui nous dispense d'en parler plus longuement aujourd'hui; seulement, comme les dimensions de la locomotive exposée à Milan paraissent différer un peu de celles de la machine de 1900, nous les indiquons ci-après.

Les cylindres ont 0,360 et 0.590 de diamètre avec 0,650 m de course. Les roues accouplées ont 1,920 et les roues du bogie 1,095 m de diamètre. Les essieux accouplés sont écartés de 4,100 m et les essieux extérieurs de 8,200 m. La chaudière fonctionnant à 15 kg de pression a des tubes Serve : sa grille a 3 m² et la surface de chauffe totale 206 m². La machine pèse en service 70 500 kg dont 43 500 kg servent à l'adhérence.

Le tender, à trois essieux, a la forme d'un réservoir cylindrique à axe horizontal; il pèse 37 000 kg avec 20 000 l d'eau et 6 000 kg de charbon. Ces machines servent à la traction des trains rapides sur les lignes à profil accidenté, la charge pouvant aller jusqu'à 400 t et la vitesse pouvant atteindre 100 km a l'heure. Au moment de l'Exposition de Milan, il y avait en service 43 locomotives de ce modèle.

La seconde locomotive appartient aussi aux chemins de fer de l'État; ce n'est, en réalité, que la transformation en compound à 2 cylindres d'un ancien type du réseau de l'Adriatique. C'est une machine-tender à trois essieux accouplés servant à la traction des trains légers de voyageurs à vitesses modérées sur des lignes à faibles déclivités.

Les cylindres sont extérieurs et horizontaux avec les boites à tiroirs au-dessus ; les tiroirs, équilibrés par le dispositif courant en Amérique, sont actionnés par des mécanismes Walschaerts ; il y a un appareil de démarrage du type de Borries. Les caisses à eau sont sous le corps de la chaudière, les soutes à combustible à l'arrière.

Les cylindres ont 0,370 et 0.580 m de diamètre et 0,550 m de course. Les roues accouplées ont 1,520 et leurs essieux extérieurs sont distants de 3,500 m. La chaudière a 15 kg avec une grille de 1,44 m² et une surface de chauffe totale de 83 m² dont 6 pour le foyer ; les tubes sont du type Serve. Le poids à vide est de 30 300 kg et le poids en service de 39 000 avec 4 000 l d'eau et 2 500 kg de combustible.

La troisième locomotive, appartenant encore au réseau de l'État, est une locomotive pour service de gares, à trois essieux accouplés, à cylindres extérieurs et distribution Walschaerts. C'est une machine-tender dont voici les dimensions principales : cylindres de 0,410×0,580 m, roues de 1,300 m avec écartement extrême de 3,600 m. Pression 12 kg; grille 1,440 m², surface de chauffe 68 m² dont 7 pour le foyer. Le poids

à vide est de 36 000 kg et le poids en service, avec 5 200 l d'eau et 1 700 kg de charbon, de 45 000 kg.

La quatrième locomotive est une petite machine-tender à deux essieux accouplés du chemin de fer à voie étroite (0.960 m) Fossano-Mondovi. Les cylindres sont extérieurs et la distribution à coulisse droite d'Allan.

Les cylindres ont 0,285×0,900 m, les roues 1 m avec un écartement de 1,500 m. La chaudière est timbrée à 12 kg ; la grille a 0,52 m², la surface de chauffe 32. La machine pèse 18 300 kg en service avec 1 600 l d'eau et 300 kg de combustible.

Enfin la dernière machine est une petite locomotive de tramway à voie normale ; elle a deux essieux accouplés à roues de 0,800 m commandés par des cylindres extérieurs de 0,245×0.300 m. La pression est de 12 kg, la chaudière a 26 m² de surface de chauffe. La machine pèse 14 000 kg avec 1 200 l d'eau et 300 kg de combustible ; elle traîne 40 t à la vitesse de 10 kilomètres ou 14 à 40 sur des profils comportant des déclivités de 26 0/00. La distribution est du type à coulisse droite d'Allan.

Officine Meccaniche precedemment Miani, Silvestri et Cie, à Milan. — Cette maison avait, indépendamment d'une voiture automotrice pour chemin de fer dont nous ne nous occuperons pas ici, une forte locomotive de l'Etat italien, montée sur huit roues accouplées et un bogie à l'avant ; l'essieu moteur est au milieu soit CCMCPP. La chaudière a de grandes dimensions, avec un foyer genre Wootten débordant au-dessus des roues des deux essieux arrière. C'est une machine compound à deux cylindres pour la traction des trains de marchandises sur section de montagnes ; le démarrage est du type Golsdorf et la distribution du système Walschaerts. Le dernier essieu accouplé a un fort jeu transversal.

Voici les dimensions principales : cylindres 0,540—0,800 avec 0,800 de course ; roues accouplées de 1,400 m, du bogie 0,840, écartement rigide des essieux 3,040, total 7,960. Chaudière timbrée à 14 kg, surface de grille 4,40 m², de chauffe totale 174 dont 13,7 pour le foyer. Poids à vide 68 500 kg, poids en service 75 500 dont 58 500 de poids adhérent.

Le tender à trois essieux pèse 34 000 kg avec 13 000 l d'eau et 4 000 kg de combustible.

Costruzione Meccaniche, Saronno. — Cette Société, qui est une filiale de la Fabrique de machines d'Esslingen, dans le Wurtemberg, avait, à Milan, avec une voiture automotrice pour voies ferrées, une locomotive destinée aux chemins de fer de l'Etat. C'était une machine à trois essieux accouplés à tender séparé et à fonctionnement compound avec deux cylindres. Ces organes et le mécanisme de distribution du type Walschaerts sont extérieurs. Voici les dimensions essentielles :

Cylindres 0,460 et 0,700 m de diamètre, 0,690 m de course ; roues 1,000 m. avec 3,600 m d'écartement d'essieux. Pression 14 kg, grille 1,9 m², surface de chauffe 131,5 m², dont 9,5 pour la boite à feu ; tubes Serve ; poids à vide 41 000 kg, poids en service 47 000 kg. Le tender à trois essieux pèse 32 500 kg avec 12 000 l d'eau et 4 000 kg de charbon.

C'est un type très employé en Italie pour les trains de voyageurs à vitesse modérée. Ces locomotives peuvent atteindre une vitesse de 69 km à l'heure.

LOCOMOTIVES SUISSES.

Il y avait à Milan trois locomotives de provenance suisse. Toutes les trois construites par la Fabrique suisse de locomotives, à Winterthur.

La première était une machine à voyageurs des chemins de fer fédéraux, à trois essieux accouplés et un boggie à l'avant, avec quatre cylindres en compound actionnant deux essieux différents. Les cylindres à basse pression sont à l'intérieur, ils sont légèrement inclinés et ont des tiroirs plans commandés par des mécanismes Joy, les cylindres à haute pression sont extérieurs et horizontaux avec des commandes Walschaerts; les premiers cylindres attaquent le premier essieu et les seconds le second essieu.

Les cylindres ont 0,360 et 0,570 m de diamètre et 0,660 m de course: les roues accouplées 1,780 m et les roues du bogie 0,850 m, les écartements sont de 3,900 m pour les essieux accouplés et de 8,350 m pour les essieux extrêmes. La chaudière timbrée à 15 kg a une grille de 2,70 m et une surface de chauffe totale de 167,5 m² dont 15,5 pour la boite à feu. La machine pèse à vide 58 000 kg et en service 61 500 kg dont 46 000 kg de poids adhérent. Le tender à quatre essieux pèse 38 500 kg avec 17 000 l d'eau et 4 000 kg de combustible. Cette machine remorque un train de 300 t à 50 km à l'heure sur rampe de 10 0/00 et peut atteindre des vitesses de 100 km. Ce modèle avait été créé en 1902 pour le réseau du Jura-Simplon passé depuis à la Confédération; les chemins de fer fédéraux en possédaient trente-cinq exemplaires à l'époque de l'Exposition de Milan.

La seconde locomotive appartient à la Compagnie du Chemin de fer du Gothard; elle est du même type que la précédente, mais elle en diffère par les dimensions et par quelques détails: ainsi les cylindres à haute pression sont intérieurs et les cylindres à basse pression extérieurs, il y a quatre mécanismes de distribution, un par cylindre, tous du type Walschaerts.

Les cylindres ont 0,370m et 0,600 m de diamètre et 0,600 m de course: les roues 1,600 et 0,850 m, l'écartement est de 3,830 m pour les essieux accouplés et 7,930 m pour les essieux extrêmes. La chaudière est timbrée à 15 kg, elle a 2,90 m² de grille et 156 m² de surface de chauffe totale dont 13 pour la boite à feu. La machine pèse vide 59 600 kg et en service 64 700 kg dont 46 500 sont utilisés pour l'adhérence. Le tender pèse 37 000 kg avec 17 000 l d'eau et 5 000 kg de charbon; il est porté sur quatre essieux.

Les premières machines de ce type remontent à 1894. Ces locomotives remorquent sur les rampes de 25 à 27 0/00 de la ligne du Gothard des trains de 140 t à la vitesse de 40 km à l'heure. En plaine elles marchent à une vitesse maxima de 90 km. La Compagnie fait en ce moment l'essai du surchauffeur Pielock sur une locomotive de ce type.

La dernière locomotive est une machine mixte à adhérence et à crémaillère pour la ligne à voie de 1 m du Brunig. C'est une machine-

tender à trois essieux accouplés dont celui du milieu est commandé par des cylindres horizontaux extérieurs ainsi que le mécanisme de distribution du type Walschaerts ; au-dessus de chacun de ces cylindres s'en trouve un autre qui commande un arbre portant deux pignons engrenant avec des roues portées par un essieu sur lequel est aussi la roue dentée qui engrène avec la crémaillère.

Lorsqu'on marche par adhérence, les cylindres de ce mécanisme fonctionnent avec échappement libre, tandis que si l'on marche avec adhérence et crémaillère, ces cylindres déchargent dans les cylindres du mécanisme à crémaillère ; nous rappellerons ici que ce mode de fonctionnement était employé sur une locomotive mixte à adhérence et crémaillère exposée par la Fabrique de machines d'Esslingen à Paris en 1900. Il y a pour chaque cylindre un mécanisme de distribution du type Walschaerts.

Les dimensions des cylindres sont 0,380 m × 0,450 m tant pour l'adhérence que pour la crémaillère. Les roues accouplées ont 0,910 m et l'écartement de leurs essieux est de 3,100 m. Les diamètres au contact des engrenages de transmission sont 0,336 et 0,744 m et celui de la roue dentée engrenant avec la crémaillère 0,860 m. La chaudière est timbrée à 14 kg, elle a 1,30 m² de grille et 62 m² de surface de chauffe dont 5.7 pour le foyer. Le poids à vide est de 29 000 kg et le poids en service de 30 000 kg avec 2 800 l d'eau et 800 kg de combustible.

Ces machines remorquent sur les rampes de 120 0/00 du Brunig des trains de 50 t à la vitesse de 12 km à l'heure. Elles peuvent marcher en plaine à une vitesse minima de 45 km.

La première machine de ce nouveau modèle a été faite en 1905 ; on sait que, dans le premier type du Brunig remontant à 1888, il n'y avait qu'une paire de cylindres servant à la fois pour l'adhérence et la crémaillère.

Après avoir ainsi passé en revue d'une manière très sommaire les locomotives exposées à Milan, nous croyons utile de résumer les éléments principaux de la construction de ces machines et nous verrons en passant s'il est possible d'en tirer quelques indications générales sur les tendances actuelles de cette construction.

Voie. — Sur les 52 locomotives de l'Exposition, il y en avait 43 à voie normale et 9 à voie étroite, savoir : une à voie de 1,05 m (Algérie), quatre à voie de 1 mètre et à voie de 0,95 m et trois à voie de 0,75 et 0,76 m.

Nombre et disposition des essieux. — On rencontrait sur les locomotives de Milan tous les nombres d'essieux entre 2 et 8 ; pour les machines des lignes principales, les seules que nous examinerons ici, le nombre varie de 3 à 8. Ce dernier chiffre est celui de la locomotive à marchandises du chemin de fer du Nord ; on trouve 7 essieux sur 2 locomotives, une pour l'Alsace-Lorraine, l'autre pour le chemin de fer de l'Est, ayant trois essieux accouplés compris entre deux bogies. Dans les machines à six essieux, on trouve soit cinq essieux accouplés et un porteur, soit quatre essieux accouplés et deux porteurs. Les locomotives à cinq essieux, les plus nombreuses, ont trois essieux accouplés entre deux essieux porteurs, ou quatre essieux accouplés et un porteur, ou enfin

deux accouplés un bogies à l'avant et un porteur à l'arrière, ce qui constitue le type *Atlantic* des Américains.

Sur 35 machines de lignes principales, on en compte 9 à 2 essieux accouplés, 20 à 3 essieux accouplés, 4 à 4, 3 à 5 et 1 à 6. Les locomotives à 3 essieux accouplés représentent donc 57 0/0 du total et les locomotives à deux essieux accouplés 26 0/0 seulement. Les machines à adhérence totale sont en très petit nombre, on n'en trouve, en effet, que trois, deux à 4 essieux couplés et une à 5. Pour les petites machines où les questions de vitesse et de puissance sont secondaires, les conditions sont toutes différentes, mais nous ne nous en occuperons pas ici.

Pression. — La pression maxima est de 16 kg, on la trouve sur 9 machines sur 35, en ne comptant que les lignes principales ; les pressions les plus ordinaires sont 14 et 15 kg ; celles de 12 ne se rencontrent que sur les locomotives à vapeur surchauffée et sur les machines des lignes secondaires, machines industrielles, de tramways, etc.

Tubes. — On trouve des tubes à ailerons sur 11 locomotives, dont 2 allemandes, 1 belge, 4 françaises et 4 italiennes ; ce total représente 31 0/0 des grandes machines, la longueur des tubes à ailerons ne dépasse pas 4,75 m (Nord). La longueur des tubes lisses s'élève au maximum à 5,25 m (machine hongroise), celle de Floridsdorf a des tubes de 5,20 m.

Grille. — La plus grande surface de grille se rencontre sur la locomotive de la fabrique de machines de la Société Autrichienne-Hongroise des Chemins de fer de l'Etat où elle atteint 4,60 m². La locomotive des Officine Meccaniche a une grille de 4,40 m², et celle des ateliers de Floridsdorf est de 4 m².

Surface de chauffe. — La plus grande surface de chauffe de foyer se trouve sur la locomotive Cockerill, 18,9 m², puis vient la locomotive des ateliers de la Meuse avec 16,9, celles de l'Est et de Tubize avec 16,2 et la machine du P.-L.-M. avec 16.

La plus grande surface de chauffe totale (sans surchauffeur) avec tubes lisses est de 235,7 m² pour la locomotive des ateliers de Buda-Pesth, de 234,7 pour celle de Floridsdorf et de 197,5 pour la locomotive des ateliers de Prague.

Surchauffe. — La surchauffe figure sur 11 locomotives, dont 10 pour les lignes principales, ce qui donne pour 35 une proportion de 28,6 0/0. Sur ces 11 locomotives, il y en a 5 allemandes, 1 autrichienne et 5 belges. Les surchauffeurs appartiennent à quatre systèmes ; 8 locomotives ont des surchauffeurs Schmidt, dont quatre placés dans la boite à fumée et quatre dans des tubes à fumée, 1 à un surchauffeur Cockerill, 1 a un surchauffeur Pielock et 1 enfin le surchauffeur désigné sous le nom de Clench Gölsdorf. Dans une seule des locomotives, celle de Cockerill, le surchauffeur donne passage à la vapeur allant d'un groupe de cylindres à l'autre,

Nous rappellerons qu'à Paris, en 1900, il n'y avait qu'une locomotive pourvue d'un surchauffeur ; il en était de même à Saint-Louis en 1904. A Liège, en 1905, on en trouvait 8 et, comme nous venons de le dire, 11 à Milan.

Mode d'expansion. — L'Exposition de Milan comptait 26 locomotives à double expansion dont 2 pour voie étroite. Ces machines se répartissaient comme suit entre les divers pays et donnaient la proportion suivante par rapport aux nombres totaux des machines exposées :

Allemagne	4	sur	13	soit	31 0/0	
Autriche-Hongrie	6	»	8	»	75	»
Belgique	3	»	10	»	30	»
France	4	»	8	»	50	»
Italie.	6	»	10	»	60	»
Suisse	3	»	3	»	100	»
TOTAUX.	26	»	52	»	50	»

Nous rappellerons ici qu'à Paris en 1900, la proportion des compound était de 36 sur 66, soit 54,5 0/0, à Saint-Louis en 1904 de 10 sur 42, ou 23,8 0/0, et enfin, à Liége en 1905, de 12 sur 32, soit 37,4 0/0.

Sur les 26 locomotives compound de Milan, il y en a 8 à 2 cylindres et 18 à 4. Ce dernier chiffre correspond à 70 °/₀ soit une forte majorité.

Sur les 18 locomotives à 4 cylindres, il y en a 10 où tous les cylindres attaquent le même essieu et 8 où ils attaquent deux essieux ; sur ces dernières, les essieux commandes sont accouplés ensemble dans 6 locomotives et, dans les deux autres, les cylindres attaquent des essieux non accouplés (machine articulée du Nord) ou des mécanismes indépendants (machine mixte à crémaillère et adhérence du Brünig).

Dans une des locomotives à 4 cylindres, celle exposée par la maison Breda, les deux cylindres H P sont d'un côté du plan longitudinal vertical et les deux cylindres B P de l'autre côté ; cette disposition qui figurait déjà sur une locomotive italienne à Paris en 1900, ne paraît pas avoir été appliquée en dehors du réseau de l'État italien.

Mécanisme. — Il n'y a que trois locomotives à cylindres uniquement à l'intérieur, la machine égyptienne de Henschel, une machine belge de Haine-Saint-Pierre et une machine italienne des ateliers Ansaldo. 18 machines ont des cylindres intérieurs, mais associés avec des cylindres extérieurs ; il reste donc 31 locomotives avec cylindres uniquement extérieurs.

Les plus grandes courses de pistons se rencontrent sur les machines suivantes: Société Autrichienne-Hongroise des chemins de fer de l'État 0,72 m, ateliers de Floridsdorf 0,72. Ansaldo 0,70 ; on rencontre des courses de 0,68 sur plusieurs autres.

Les plus grands diamètres de cylindres sont : locomotive de Wiener-Neustadt 0,85 m ; Officine Meccaniche 0,80 et Borsig, chemins de fer d'Anatolie, 0,78 ; ces machines sont des compounds à deux cylindres. On trouve sur des machines à simple expansion, mais à vapeur surchauffée, des diamètres de 0,610 m Schwartzkopff et 0,590 m Vulcan.

Les plus grands rapports de cylindres des locomotives compound sont 2,96 dans la grande locomotive des ateliers de Buda-Pest, 2,95 dans celle des ateliers de Prague, 2,93 dans celle de Floridsdorf et 2,90 dans la locomotive de la Société Cockerill. Le plus petit rapport est de 2,20 pour la machine des Officine Meccaniche.

On trouve des tiroirs cylindriques sur tout ou partie des cylindres des machines compound à 4 cylindres et sur toutes les machines à vapeur surchauffée.

Les plus grands diamètres de roues sont de 2,14 m pour la locomotive des ateliers de Prague, 2,10 pour celle de Buda-Pest et celle des ateliers de Breslau et 2,09 pour une des machines de la Compagnie de l'Est. On trouve beaucoup de roues entre 1,50 et 2 m ; le plus petit diamètre des locomotives pour lignes principales est de 1,25 m (locomotive des chemins de fer d'Anatolie). Le plus grand diamètre pour locomotives à trois essieux accouplés est de 2,09 m. A Saint-Louis, c'était 2,032. A Paris, en 1889, la locomotive Estrade avait 6 roues accouplées de 2,50 m de diamètre et les expériences faites sur cette machine n'avaient pas révélé d'inconvénients dans cette disposition. La locomotive Estrade, à défaut d'autres mérites, a eu celui de jouer le rôle de précurseur des locomotives à trois essieux accouplés à roues de grand diamètre comme celle de Blavier et Larpent à l'Exposition de 1855 a été, avec ses roues de 2,85 m, la première des locomotives à deux essieux accouplés à grandes roues, mais l'une et l'autre avaient des diamètres de roue inutilement exagérés.

Mécanisme de distribution. — Le mécanisme le plus employé est celui de Walschaerts ; à côté on trouve quelques coulisses Stephenson ou Allan, deux commandes de Joy et une de Lentz.

Voici comment se répartissent ces divers systèmes sur les locomotives exposées :

	Walschaerts	Stephenson	Allan	Joy	Lentz
Allemagne.	9	1	2	—	1
Autriche-Hongrie.	7	1	—	—	—
Belgique.	8	2	—	—	—
France	5	2	—	1	—
Italie	9	—	1	—	-
Suisse.	3	—	—	1	—
Totaux.	41	6	3	2	1

On voit par ce tableau que la distribution Walschaerts est employée sur tout près de 80 0/0 des locomotives exposées et les coulisses Stephenson et Allan sur 11 1/2 0/0 seulement, les deux autres systèmes n'atteignent que des proportions insignifiantes.

Poids. — La plus lourde locomotive, en prenant le poids avec les approvisionnements au complet, est la locomotive articulée du Nord qui pèse 102 t. C'est une machine tender. La plus lourde locomotive à tender séparé est celle des ateliers de la Meuse qui pèse seule 82 t et avec son tender plein 130 t. La locomotive Cockerill pèse seule 78 et avec son tender 126 t et celle de l'Est 77 et 125,5 t.

Approvisionnements. — La locomotive articulée du Nord porte 12 800 l d'eau et 5 000 kg de combustible, c'est celle qui porte le plus d'eau. Après vient la machine d'Alsace-Lorraine avec 9 500 l et 4 000 kg de charbon et la locomotive tender de grande banlieue de l'Est avec 8 600 et 3 000.

Les plus grands tenders portent 22 200 l d'eau, locomotive de l'Est, 21 500 locomotive des ateliers de Breslau et 21 000 diverses locomotives de l'État belge. Le plus grand poids de combustible paraît être 8 000 kg porté par le tender de la grande locomotive des ateliers de Buda-Pest.

Nous ne saurions terminer ce travail sans reconnaître l'aide que nous avons trouvée pour le faire dans des notes sur le sujet publiées dans des périodiques allemands, autrichiens et italiens et mentionner d'une manière toute spéciale l'étude de M. H. Uebalacker, de Munich, parue dans l'*Organ*, 3e livraison de 1907 et dont les tableaux et diagrammes nous ont été de la plus grande utilité.

Charles H. Haswell. — Nous apprenons avec regret la mort d'un ingénieur américain qui pouvait passer à juste titre pour être le doyen de la profession et dont nous avons eu plusieurs fois occasion de citer les travaux dans nos chroniques. Il s'agit de Charles-Haynes Haswell, né le 22 mai 1809 et décédé par suite d'un accident le 12 mai 1907 ; il avait donc 98 ans moins 10 jours.

Haswell, né à New-York, avait reçu l'éducation classique ordinaire des jeunes gens à l'époque, mais, comme il avait manifesté de bonne heure des dispositions particulières pour la mécanique, on le fit entrer, en 1828, dans les ateliers Allaire, les premiers établissements importants créés aux États-Unis pour la construction des machines et des chaudières ; au bout de quatre ans, il était assez au courant de la machinerie navale pour faire le projet et diriger l'exécution d'une chaloupe à vapeur qui eut un succès complet et paraît constituer la première embarcation automobile, ce qui fit donner pendant longtemps à l'auteur le titre de « créateur du steamyacht ». Il construisit aussi un remorqueur qui fut le quatrième du port de New-York.

Haswell entra ensuite dans la marine des États-Unis qui ne possédait alors qu'un seul vapeur, le *Fulton II*, dont la machine fut confiée à Haswell qui reçut le premier le titre de *chief engineer*. A cette époque le personnel mécanicien ne jouissait d'aucune considération à bord et Haswell eut à subir beaucoup d'humiliations qui le firent renoncer très vite au service actif, il se consacra alors aux travaux de construction où il se distingua au point d'obtenir en 1846 le grade d'Ingénieur en chef qu'il fut le premier à porter. Il étudia et fit construire les appareils moteurs de dix navires de guerre parmi lesquels ceux du *Missouri*, du *Mississipi*, du *Michigan*, de l'*Alleghany* et dont le plus important fut la frégate à roues le *Powhatan* construite en 1848. Ce navire, remarquable pour l'époque, avait une machine inclinée à action directe de 800 chevaux de puissance nominale avec deux cylindres à distribution par soupapes de 1,78 m de diamètre et 3,05 m de course tournant à 12 ou 13 tours par minute ; les chaudières produisaient la vapeur à la pression de 0,85 kg de tension absolue. Le *Powhatan* eut un très grand succès et valut à son auteur une réputation bien méritée. Haswell l'avait suivi dans une croisière expérimentale dans la Méditerranée, et sa santé s'en était très altérée, au point qu'il dut quitter la marine en 1851. Disons en passant qu'on attribue à Haswell la première application du zinc à l'intérieur des chaudières pour en prévenir l'oxydation.

En rentrant dans la vie privée, il ne renonça pas à la carrière de l'ingénieur ; ainsi, il fut, pendant plus de quarante ans, attaché aux Compagnies d'assurances de New-York, de Boston et de Philadelphie pour la surveillance des bateaux à vapeur ; il fut aussi ingénieur-conseil du bureau des améliorations publiques et membre du Conseil de la ville de New-York ; il était aussi administrateur de la Société du Pont de Brooklyn.

Haswell laisse quelques ouvrages dont le plus important, au moins au point de vue de l'ingénieur, est un *Mechanics' and Engineers' Pocket book* dont le succès a été énorme car il en est actuellement à son 164me mille. Dans un autre ordre d'idées, il a écrit un ouvrage intitulé *Souvenirs d'un octogénaire*, paru en 1897, qui donne de très intéressants détails sur le développement de New-York de 1816 à 1860.

Haswell avait conservé, à un âge très avancé, une santé extraordinaire ; il eût atteint et peut-être dépassé la centaine, si, comme nous l'avons indiqué, il n'était mort à la suite d'une chute. On cite ce fait curieux qu'il avait appris à monter à bicyclette, il y a une dizaine d'années, c'est-à-dire à l'âge de 88 ans, et qu'il pratiquait cet exercice, comme si, disait-il, il avait eu soixante-dix ans de moins.

Nous avons reproduit, dans nos chroniques, plusieurs articles dus à la plume du défunt, entre autres des notes intéressantes sur le développement de la navigation à vapeur aux États-Unis.

Le nom d'Haswell figurera avantagement parmi ceux des ingénieurs de la marine américaine qui se sont illustrés, Stuart, Emery, Loring, Isherwood, Melville, etc.

Un transport aérien dans l'Argentine. — Il existe, aux pieds des Andes, au nord de Chilecito, au point le plus occidental atteint par les chemins de fer argentins, des mines d'or, d'argent, de fer et de cuivre d'une très grande richesse qu'on appelle les mines de Famatina et qui étaient restées à peu près inaccessibles jusqu'à ces derniers temps. Les plus importantes, situées à Upalungos, se trouvent à une altitude de 4 700 à 5 000 m au-dessus du niveau de la mer, et fournissaient par an environ 4 000 t de minerai riche que des porteurs et des mules descendaient à Chilecito, à 1 200 m seulement d'altitude.

L'exploitation de ces mines présente de grandes difficultés, à cause des conditions climatériques. Chilecito est dans un climat tropical, tandis qu'à Upalungos la température moyenne en hiver descend à — 18 degrés. La raréfaction de l'air rend le travail presque impossible à ces hauteurs et, de plus, le pays manque à peu près totalement d'eau et de combustible. On conçoit donc que l'exploitation de ces minerais ait été presque insignifiante, bien qu'ils fussent connus pour contenir jusqu'à 38 0/0 de cuivre et 3 0/0 d'argent.

Après l'ouverture du chemin de fer jusqu'à Chilecito, les mines furent acquises par une Compagnie anglaise et le Gouvernement Argentin résolut de les relier au chemin de fer à Chilecito. La seule solution possible était la construction d'une ligne aérienne qui a été établie par la maison Bleichert, de Leipzig.

Cette ligne est double : une pour l'aller, l'autre pour le retour ; cha-

cune comporte deux câbles, un de support et un de traction placé sous l'autre ; le premier est fixe et le second est en mouvement continu. Les wagonnets sont suspendus à un chariot qui roule par des galets sur le câble de support ; ces wagonnets ont une capacité de 500 kg, ce qui fait avec la tare un poids total de 680 kg. Ils se succèdent à une distance de 110 m, ce qui fait 45 secondes à la vitesse de 2,50 m par seconde à la descente. La remonte des wagonnets vides se fait en partie par le poids des wagonnets descendants ; mais dans les sections à faible déclivité, il faut employer un travail supplémentaire. Les câbles de support vont d'une station à l'autre et sont amarrés à chacune par des dispositions analogues à celles qu'on emploie dans les ponts suspendus. Les wagonnets sont transportés mécaniquement d'un câble à l'autre ; ils sont accrochés au câble de traction par l'accrochage automatique Bleichert.

La ligne, entre Chilecito et Upalungos, est divisée en huit sections par sept stations. La distance totale est de 35 800 m et la différence de niveau de 3 507 m. La distance entre les stations varie de 3 660 à 8 850 m et les déclivités de 5 à 30 0/0, atteignent même par endroits 100 0/0.

Entre les stations, à des distances de 2 000 m environ, les câbles sont supportés sur des montants métalliques. A certaines stations se trouvent des garages et une installation de force motrice avec chaudières et machines à vapeur pour la mise en mouvement des câbles de traction. Entre la quatrième et la cinquième station, la ligne traverse sept précipices sur des supports de 48 m de hauteur et traverse un tunnel de 305 m de longueur sur une section de 4,50 × 4 m. La septième station est à l'altitude de 3 965 m et à une hauteur de 671 m au-dessus de la précédente située à une distance horizontale de 2 400 m, ce qui donne une déclivité de 30 0/0. Dans le tunnel dont nous venons de parler, les câbles sont remplacés par des rails ; il en est de même sur une croupe arrondie de montagne sur laquelle la ligne se déploie.

Le fer est presque exclusivement employé dans la construction de cette voie de transport, il y a 275 supports en treillis dont la hauteur varie de 3,05 à 48 m. Les câbles sont en fils d'acier ; les câbles de support ont des sections différentes : ceux de montée, moins chargés, ont 28 mm et ceux de descente 35,5 mm de diamètre ; les câbles de traction, qui peuvent avoir à subir des efforts de 5 000 kg, ont 18 mm de diamètre. Dans certaines sections, la descente engendre un excès de force par rapport à la résistance à la montée qui est absorbé par des freins.

En dehors des wagonnets transportant le minerai, il y a des véhicules pour les provisions, les outils, etc., il y en a même un pour le transport du personnel qui peut contenir quatre hommes ; il y a aussi des réservoirs pour monter de l'eau qu'on ne trouve pas à la partie supérieure. Les câbles de traction sont graissés par une disposition ingénieuse consistant en un petit chariot contenant un réservoir d'huile et une pompe rotative ; le mouvement des roues du chariot actionne la pompe qui envoie de l'huile sur le câble. Les diverses stations communiquent entre elles par le téléphone.

Le montage des appareils a été une opération très délicate. Le travail s'est fait par sections, en commençant naturellement par la partie inférieure ; comme les transports se faisaient à dos de mules, on avait soin

de diviser les pièces en parties de 150 kg au plus. On a employé plus de 1 000 mules à cet effet; les pièces d'un poids supérieur, jusqu'à 2 000 kg, étaient portées par des masses d'hommes. Ainsi, les câbles, par longueurs de 200 à 300 m, pesant environ 3 000 kg, exigeaient, suivant les endroits, de 60 à 300 hommes qui les portaient déroulés. A mesure que la pose de la ligne avançait, on transportait les câbles en les attachant à des wagonnets roulant sur la partie déjà installée.

Les travaux ont employé 1 200 hommes; commencés en octobre 1903, ils ont été terminés à la fin de 1904. La ligne est exploitée par le Gouvernement; elle emploie 640 wagonnets. Le transport par mules coûtait avant 62,50 f par tonne; avec un débit de 40 t à l'heure, le coût, par la ligne aérienne, n'est plus que de 6,50 f, ce qui représente un peu moins de 0,20 f par tonne-kilomètre.

Renflouement d'un navire par l'air comprimé. — Le paquebot *Bavarian*, de 12 000 tx de déplacement, de la ligne Allan, s'échoua le 3 novembre 1905 dans le Saint-Laurent, à 38 milles au-dessous de Québec; on essaya de le remettre à flot par tous les moyens possibles et on n'obtint aucun résultat tout en ayant dépensé environ 750 000 f.

L'examen de la coque avait fait voir que les fonds étaient très endommagés dans la partie centrale; les trous pratiqués étaient trop grands pour qu'on pût essayer de vider les compartiments de l'eau qui les remplissait; on résolut d'employer l'air comprimé en traitant le navire comme un immense caisson.

Le travail fut entrepris par la North American Wrecking C° qui s'y mit le 7 septembre 1906; il fut conduit avec une précision toute mathématique. On commença par étançonner fortement les ponts surmontant les compartiments devant servir de caissons. On ferma hermétiquement tous les panneaux et on établit des sas à air sur les compartiments en question.

On employa aux travaux des hommes qui avaient travaillé à l'air comprimé aux fondations du pont de Québec et on les mit sous la direction d'un ingénieur qui avait acquis la pratique de ce genre d'opérations à New-York pendant plusieurs années.

On installa dans le compartiment des machines un réservoir en bois de 200 m³ environ de capacité dont la capacité de flottaison devait équilibrer à peu près le poids de ces machines (180 t); on vida les chaudières et on se servit des soutes à charbon d'avant comme de chambres à air. Dès qu'on commença à refouler l'air, l'eau se retira rapidement et les compartiments se trouvèrent à sec; dans ceux dont les fonds se trouvaient le moins maltraités, on boucha les trous par une fermeture temporaire: pour les autres on les laissa tels quels, avec l'eau maintenue à un niveau assez bas par la pression de l'air. Il fallut très peu de temps pour faire flotter le navire qui se trouva dégagé de l'écueil et qu'on remorqua à Québec dès qu'on pût s'assurer qu'il n'y avait aucun risque de le voir chavirer et que sa stabilité était parfaite. Cela se passait le 16 novembre, soit exactement 60 jours après le commencement des travaux. Il faut dire que l'opération qui termina le renflouement avait dû être retardée de plusieurs jours à cause du mauvais temps.

Nous rappellerons que nous avons parlé, dans la Chronique d'Août 1894, p. 349, de l'emploi du même procédé pour le sauvetage du vapeur *Plymouth* échoué sur des rochers dans le port de Newport; ce navire était de bien moins grandes dimensions que le *Bavarian*.

Équerre hyperbolique Morin. — Cet instrument sert à la mesure des aires curvilignes et constitue ainsi un planimètre d'une construction et d'un usage fort simples. C'est une pièce de cuivre mince découpé représentée à échelle réduite sur les figures; les côtés sont des branches d'hyperbole.

Pour mesurer une aire bornée en tout ou partie par des lignes courbes on plante *(fig. 1)* une punaise à l'intérieur de l'aire en un point quelconque pourvu que l'équerre, posée sur la tige *o* de la punaise par l'encoche qui la termine, n'ait jamais son extrémité à l'intérieur de la courbe périmètre. On promènera l'équerre en la faisant tourner autour du point *o* et on divise ainsi l'aire en triangles. Ces divers triangles ont tous la même surface à cause de la forme hyperbolique des côtés de l'équerre, les différences de longueur des grands côtés des triangles se compensant par les différences de longueur du petit côté. Il suffit donc de connaître la surface du triangle et de la multiplier par le nombre des triangles pour avoir la surface.

Il est bon d'ajouter que, en général, la surface ne contient pas un nombre exact de triangles; il reste presque toujours un petit triangle

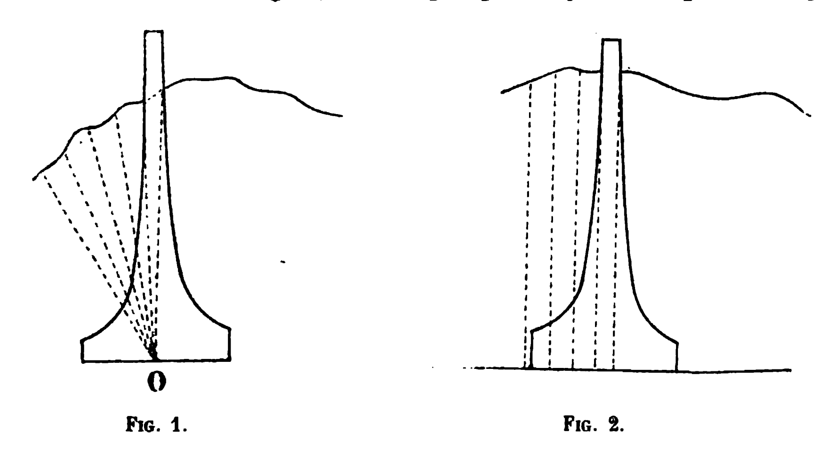


Fig. 1. Fig. 2.

supplémentaire qu'on calcule à la manière ordinaire et dont on ajoute la surface au total. L'équerre est contruite de manière que la surface du triangle soit de 10 cm².

Au lieu de décomposer l'aire à mesurer en triangles, on peut, dans certains cas, la décomposer en trapèzes en faisant glisser *(fig. 2)* la base de l'équerre sur une règle.

Nous nous bornons à indiquer le principe de l'appareil et son application la plus simple. On trouvera des détails complets dans une note sur cette équerre parue dans le *Bulletin Technologique des Écoles d'Arts et Métiers* d'avril 1907.

Le trafic du Simplon. — Le tunnel du Simplon a été livré à l'exploitation régulière le 1er juin 1906. Les résultats de la première année d'exploitation sont les suivants, d'après les journaux suisses :

Pour les marchandises, il est entré en Italie 27 400 t et il en est sorti et entré en Suisse 29 400 t Total des marchandises transportées 56 800 t, y compris celles passées en transit, par la Suisse, de France en Italie et *vice-versa*. Le tarif de transit n'est entré en vigueur qu'en janvier 1907 et son application n'est encore que très faible, soit parce qu'il n'est pas assez connu, soit parce que ses prix n'offrent pas suffisamment d'avantages pour le Simplon, étant les mêmes que ceux des transports par le Mont-Cenis. Les 50 000 t, en chiffres ronds, du trafic italo-suisse se rapportent aux transports de marchandises effectués à destination ou en provenance de la Suisse romande et de la vallée de l'Ossola. Ce chiffre est relativement très élevé pour un début. On avait évalué à un maximum de 100 000 t par an le trafic des marchandises, y compris le transit, à travers le Simplon, pour les premières années d'exploitation. Ce résultat sera atteint très probablement déjà dans la seconde année après l'ouverture de la ligne.

Le nombre total des voyageurs transportés pendant l'année écoulée ne peut être indiqué déjà maintenant avec exactitude, les éléments de statistique n'étant pas encore disponibles. Mais, d'après les comptages faits, on peut admettre le passage, à travers le tunnel, dans les deux sens, de 130 000 voyageurs pour l'année entière.

En calculant la recette sur la base du prix moyen des chemins de fer fédéraux pour les voyageurs-kilomètres et les tonnes-kilomètres, on arriverait à une recette brute, pour voyageurs et marchandises, d'environ 42 000 f par kilomètre, en tenant compte de la surtaxe concédée.

Il n'est pas inutile de rappeler que la seconde voie doit être construite quand cette recette atteindra 50 000 f par an sur la ligne de Brigue à Domodossola.

COMPTES RENDUS

ANNALES DES MINES

Troisième livraison de 1907.

Statistique de l'industrie minérale de la France. — Production des combustibles minéraux, fontes, fers et aciers en 1905 et 1906.

L'extraction des combustibles minéraux s'est élevée, en 1906, à un total de 34 312 000 t dont 33 581 000 pour la houille et l'anthracite, et 737 000 pour le lignite; ce total est en diminution de 1 614 000 t sur l'année 1905.

Le Nord et le Pas-de-Calais figurent, dans cette production, pour un chiffre de 21 158 000, chiffre inférieur de 2 016 000 t à celui de l'année précédente. Après viennent la Loire avec 3 890 000 t, la Bourgogne et le Nivernais avec 2 060 000 t, le Gard avec 2 051 000 t.

Pour le lignite, le bassin du Furens entre pour 613 000 t, celui de Manosque pour 51 000 t, les Vosges pour 22 670.

La production totale de la fonte s'est élevée à 3 319 000 t en augmentation de 242 000 t sur la production de 1905, sur ce total, Meurthe-et-Moselle figure pour 2 292 000 t, soit 69 0/0 environ, le Nord pour 329 000 t, le Pas-de-Calais pour 119 000 t et Saône-et-Loire pour 105 000 t.

La production des fers et aciers ouvrés a atteint le total de 737 000 t, en augmentation de 67 000 t sur l'année 1905. Sur ce chiffre on trouve 263 400 t de produits obtenus par puddlage, 3 068 t obtenues par affinage au charbon de bois et 380 000 t obtenus par réchauffage de fers et aciers bruts, de massiaux et de vieux fers. Il a été fait, en 1906, 338 900 t de rails d'acier, 760 000 t de tôles et 31 000 t de moulages d'acier. La production totale de lingots d'acier a été de 2 371 000 t, dont 835 000 t au four Martin et 1 870 000 au convertisseur. Cette production est supérieure de 131 000 t à celle de 1905.

Note sur **les réformes récentes de la législation fédérale des chemins de fer aux États-Unis,** par M. O. Henry-Gréard, Ingénieur des Mines.

Les États-Unis constituant une confédération, le droit de légiférer appartient à la fois aux législatures d'États et au Congrès fédéral; la limite de chacun de ces pouvoirs est définie dans la Constitution de 1787, on conçoit donc que, en ce qui concerne les chemins de fer, il y aurait eu de grandes difficultés si, en pratique, il n'avait été apporté

des modifications. Toutefois, les États avaient le droit de réglementer les transports accomplis sur leur territoire, quelle qu'en fût l'origine ou la destination. Ce droit fut restreint par une loi fédérale de 1887 qui remettait au Congrès le pouvoir de contrôle et créait la *Interstate Commerce Commission*, corps consultatif chargé de donner des avis et notamment de préparer les arrêts des cours.

Plus tard, en 1903, le Congrès a voté la loi Elkins qui précise les interprétations douteuses de l'Act de 1887 et le complète ; elle est dirigée surtout contre les tarifs de privilège. Enfin la loi Hepborn, du 29 juin 1906, étend le champ d'application de la loi de 1887 en englobant les « pipe lines », les Compagnies d'express et de wagons-lits et le matériel roulant, ce qui rattache au contrôle fédéral une partie de l'exploitation qui lui était jusqu'ici soustraite. Cette loi étend aussi les pouvoirs de l'*Interstate Commerce Commission* à laquelle de nouvelles attributions sont données en même temps que son autorité est fortifiée ; sa fonction essentielle est toujours toutefois l'examen des tarifs.

La loi Hepborn est surtout dirigée contre les trusts ; elle interdit, en effet, aux Compagnies de transport de cumuler aucun commerce, aucune industrie avec celle des transports et de posséder aucun des produits qu'elle transporte. On cherche par là à éviter que ces Compagnies puissent, en abaissant les tarifs pour leurs produits, accaparer un marché et s'assurer un monopole de production, ce qui s'est fait, par exemple, pour l'anthracite.

Résultats de **la mission géologique et minière du Yunnan méridional** (septembre 1903 à janvier 1904), par M. M. Lantenois, Ingénieur en chef des Mines.

Il n'est donné ici qu'une partie de ce travail considérable, partie qui comprend une étude sur la géologie et les mines de la région comprise entre Lao-Kay et Yunnan-Sen.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS

N° 20. — *18 Mai 1907.*

Nouveaux progrès réalisés en Allemagne dans la construction des moteurs thermiques, par M. Dubbel.

Exposition internationale de l'automobile à Berlin, en 1906, par A. Heller.

Arc à deux articulations avec tirant à hauteur arbitraire, par F. Bohny *(fin)*.

Le matériel de chemins de fer à l'Exposition de Milan, en 1906, par Metzeltin *(suite)*.

Etude historique sur l'industrie à Berlin, par C. Matschoss *(fin)*.

Groupe d'Alsace-Lorraine. — Nouveaux procédés de construction en béton armé.

Groupe du Rhin-inférieur. — La fabrication des chaînes, notamment par le système Girlot.

Groupe de Poméranie. — La notion et la mesure de la température.

Bibliographie. — La locomotive actuelle, par R. Garbe.

Revue. — Ascenseurs pour bateaux de Kirkfield. — Fondations pour les grosses machines-outils. — Chemins de fer électriques aériens et souterrains à Berlin. — Station hydro-électrique en Carinthie. — Wagons métalliques pour chemins de fer.

N° 21. — *25 Mai 1907.*

Installations mécaniques pour la construction du tunnel de Tauer, par K. Brabbée.

Quelques observations sur les gares à marchandises en Amérique, par Blum et L. Giese *(fin).*

Les machines de l'industrie textile dans les dernières expositions, par G. Rohn *(suite).*

Les chemins de fer de l'Afrique, par C. Matschoss.

Groupe de Berlin. — Expériences sur les transmissions par câbles et courroies.

Groupe de Hanovre. — Matières à polir naturelles et artificielles.

Groupe de Thuringe. — La vapeur d'échappement comme source de force motrice. — Emploi de l'air carburé pour l'éclairage, le chauffage et la force motrice.

Groupe du Bas-Weser. — Conduite des chaudières marines au point de vue de la sécurité.

Bibliographie. — Études économiques sur les grandes entreprises industrielles, par O. Stillich. — Construction et emploi des appareils frigorifiques, par C. Heinel. — Principes des constructions hydrauliques, par M. Moeller. — Les principes de la mécanique, par O. Dziobek.

Revue. — Le paquebot Cunard *Lusitania.* — Machine d'épuisement souterraine du puits Altenwald. — La question du caoutchouc.

N° 22. — *1er Juin 1907.*

Nouveaux progrès réalisés en Allemagne dans la construction des moteurs thermiques, par H. Dubbel *(suite).*

Le graissage des machines à grande vitesse, par K. Lenz.

Nouvelles machines électriques construites par les ateliers Siemens-Schuckert, par K. Meyer.

Le matériel de chemin de fer à l'Exposition de Milan en 1906, par Metzeltin *(suite).*

Groupe de Dresde. — Historique du développement du béton armé.

Groupe de Wurtemberg. — Nouveaux échafaudages mécaniques.

Bibliographie. — Les bases de l'enseignement aux Etats-Unis, par H. Leobner.

Revue. — Emploi du combustible liquide dans les machines motrices. — Le vapeur *Président Lincoln* de la Ligne Hambourgeoise-Américaine.

N° 23. — *8 Juin 1907.*

Le pont route sur le Rhin entre Ruhrort et Homberg, par W. Dietz *(suite)*.

Les machines de l'industrie textile dans les dernières expositions, par G. Rohn *(suite)*.

Nouveaux progrès réalisés en Allemagne dans la construction des moteurs thermiques, par H. Dubbel *(fin)*.

Le développement des écoles techniques supérieures, par C. Matschoss.

Groupe de Cologne. — Questions de propriété en ce qui concerne les machines.

Bibliographie. — Assurances des ouvriers contre les accidents en Allemagne et l'étranger.

Revue. — Utilisation des chutes d'eau pour la production directe de l'air comprimé. — Application générale de la traction électrique sur les lignes de la Haute Italie. — Élargissement du canal Empereur Guillaume.

Pour la Chronique et les Comptes rendus :

A. Mallet.

BIBLIOGRAPHIE

Ire SECTION

Méthode rationnelle d'établissement des canalisations d'eau, de gaz, etc. — *Ce que coûtent les fuites. Économies à réaliser.* par M. J. Gilbert, Ingénieur (1).

La première partie de ce mémoire montre l'importance de la perte en eau, gaz, recherches et réparations des fuites résultant de l'étanchéité trop peu durable des joints, qui, d'après les nombreux exemples cités, serait d'au moins 0,30 f par mètre courant de canalisation et par an, ce qui représenterait une somme considérable pour la France.

Un graphique capitalisant les pertes et une somme de un franc pendant cinquante ans permet de se rendre compte, chaque année, du résultat de la perte due aux fuites et de l'intérêt qu'on peut avoir à remplacer les canalisations devenues trop défectueuses. Les pertes calculées d'après les données de quelques services produisent des nombres intéressants.

Après avoir passé en revue les travaux les plus récents des spécialistes qui, eux aussi, montrent combien les fuites sont importantes, nuisibles, difficiles à découvrir et comment elles se produisent ou se reproduisent rapidement, l'auteur parle des accidents dus aux fuites de gaz et d'eau, — qui coûtent parfois fort cher — et des inconvénients des fuites au point de vue de la santé publique. Pour l'eau, notamment, les fuites réduisent trop souvent la quantité distribuée au point de priver d'eau les quartiers élevés à certains moments et, lorsque la charge fait défaut sur ces points, il peut s'y produire des rentrées d'eau contaminées ou au moins suspectes.

Des joints ou des tuyaux susceptibles de se fissurer, de s'arracher ou de se rompre prématurément pourraient donc exiger des réparations coûteuses pendant et après la période décennale de responsabilité.

Les causes des fuites sont étudiées avec soin. — On voit qu'il est impossible de les éviter avec les systèmes actuellement employés, quelque soin qu'on apporte à les réparer chaque année. De plus, dans les grandes villes, la circulation rapide de lourdes voitures à moteurs et les courants électriques vagabonds viennent encore augmenter sérieusement les causes des fuites.

L'auteur expose que les joints au plomb maté ne peuvent pas résister longtemps aux efforts du sol et autres puisque le plomb est serré contre une partie lisse du bout mâle et que les joints au caoutchouc présentent

(1) Mémoire communiqué

encore moins de résistance à ces efforts; le caoutchouc ne conserve pas toujours assez d'élasticité pour suivre les mouvements des tuyaux sans laisser des fuites.

Pour obtenir une étanchéité durable, il ne suffit pas que les tuyaux et les joints d'une conduite, placée dans une position déterminée, puissent résister à des pressions d'épreuves plus ou moins élevées : il faut qu'une fois en fonction ils présentent la résistance et l'élasticité nécessaires dans chaque cas pour supporter assez longtemps sans se fissurer les efforts auxquels ils seront exposés.

La deuxième partie est consacrée à l'explication de la solution de l'étanchéité durable des joints qu'obtient M. Gilbert en combinant l'élasticité du caoutchouc avec la résistance et l'inoxydabilité du plomb et de la fonte ou de l'acier.

Une rondelle de caoutchouc, placée dans le joint, est fortement comprimée au moment de la mise en place des tuyaux : ceux-ci sont maintenus en place par un cordon de plomb coulé dans deux gorges en regard sur le bout mâle et sur l'emboitement, qui forment clef, et dont les retours d'équerre présentent le maximum de résistance aux glissements longitudinaux des tuyaux.

Par ce moyen, les mouvements des tuyaux sont limités perpendiculairement et longitudinalement à des déplacements que l'élasticité du caoutchouc peut suivre sans laisser de fissures, à la condition toutefois que la clef soit assez résistante, mais c'est là une question de prévisions. Comme l'indique l'auteur à la suite de ses calculs de résistance des joints, il est d'ailleurs facile d'augmenter la résistance de la clef lorsque des efforts élevés sont à craindre, ce qui est évidemment plus logique que de compter sur un amarrage, par le sol ou autrement, des tuyaux posés bout à bout.

Les poids et dimensions des tuyaux en fonte et en acier de la série ordinaire ont été arrêtés pour des épreuves de 15 atmosphères. Ils séraient modifiés pour des pressions plus élevés.

La fabrication est conforme aux conditions du cahier des charges de la ville de Paris.

Les tuyaux en acier, qui luttent contre la fonte en Allemagne et qui ont fait leurs preuves depuis environ quinze ans qu'on les emploie sur une assez grande échelle, seront également utiles en France dans bien des cas.

La pose des tuyaux est facile et rapide.

Les applications les plus anciennes des tuyaux de ce système, à Pompey (1903), au Montet près Nancy, à Paris (gare de la Villette), à Andrézieux, à Joyeuse (Ardèche), à Tauves (Puy-de-Dôme), à Fin d'Oise (conduite de gaz), à Avor (Cher), etc., montrent que les prévisions théoriques se réalisent en pratique, malgré les nombreux efforts auxquels les joints sont journellement exposés. Outre les efforts provenant d'un sol de remblai et d'une trépidation très intense, les joints en fonction à la gare de la Villette supportent la fatigue de 20.000 coups de bélier par jour.

En apportant la résistance et l'élasticité nécessaires aux joints des conduites d'eau et de gaz, on pourrait donc reporter sur les améliora-

tions qui attendent la valeur des pertes annuelles par suite des fuites.

Comme conclusion, nous ne saurions mieux faire que de reproduire les appréciations ci-après, formulées par la Commission des Inventions, consultée par M. le Ministre des Travaux Publics, qui compte d'éminents spécialistes, professeurs à l'Ecole des Ponts et Chaussées après une longue pratique des travaux hydrauliques et autres, tels que MM. Debauve et Bechmann, président et rapporteur, Mesnager, Rabut, Résal, etc.

« On est en droit d'espérer qu'avec les dispositions imaginées, les ruptures accidentelles dues aux déboîtements seraient moins nombreuses ; que les fuites, si fréquentes dans la plupart des services d'eau et qui causent des pertes d'eau si considérables seraient diminuées dans une forte proportion. C'est, du reste, ce qui résulte des premières applications et des expériences de laboratoire, et comme ces résultats, forts appréciables, sont obtenus par des moyens simples et expéditifs, qui ne semblent pas devoir entraîner d'augmentation effective de la dépense, on peut conclure que le système de conduites Gilbert constitue une amélioration réelle, qu'il serait assurément intéressant de voir entrer dans la pratique courante. »

T. S. S.

Construction et entretien des routes et chemins, par A. DEBAUVE (1).

Cette nouvelle édition contient comme la précédente l'étude de tous les éléments d'une route : le tracé, la composition et la rédaction des projets, l'exécution des terrassements et leur consolidation, les petits ouvrages accessoires, la construction et l'entretien des chaussées empierrées et des chaussées pavées ainsi que le matériel nécessaire à ces travaux.

De plus, l'éminent professeur, achevant son œuvre, se préoccupe de donner satisfaction aux besoins nouveaux créés par le développement incessant des cycles et des automobiles. Les pneus circulant à grande vitesse exercent sur les routes des dégradations profondes et soulèvent des nuages de poussière qui causent tant de gêne à la circulation et aux propriétés riveraines. Si le remède réellement efficace et pratique n'est pas encore trouvé, il a paru utile cependant de signaler les tentatives faites pour obvier à ces graves inconvénients ; goudronnage, pétrolage, arrosage à l'eau additionnée de mélanges et divers autres procédés.

Enfin le dernier chapitre est consacré aux pistes cyclables et aux virages, ainsi qu'à des observations sur le mécanisme des automobiles à grande vitesse, sur les locomotives routières, les automobiles à poids lourds et le train Renard.

Comme conclusion : « il faut faire une guerre constante à la boue et « à la poussière, mais pour cela des crédits plus élevés sont nécessaires, « car, comme le dit Maître Jacques, il n'est point de bonne cuisine sans « argent ».

J. G.

(1) In-8, 255 × 165 de 480 p. avec 187 fig. et 2 pl. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1907. — Prix : broché, 18 f.

Società Italiana delle Strade ferrate del Mediterraneo. Servizio delle Costruzioni. Relazione sugli Studi e Lavori eseguiti dal 1897 a 1905 (1).

L'exposition de Milan destinée à fêter, l'année dernière, l'ouverture du chemin de fer du Simplon, a donné lieu à la publication par le *Service des Constructions* de la *Société Italienne des Chemins de fer de la Méditerranée*, d'une *Relation des Études et Travaux* qu'elle a exécutés de *1896 à 1905*, faisant suite à celle qui décrivait les travaux des années 1885 à 1897, dont nous avons rendu compte dans le bulletin de novembre 1898 de notre Société. On sait d'ailleurs que, par une loi du 22 avril 1905, l'État italien a racheté ses chemins de fer aux diverses Sociétés qui les exploitaient, pour s'en charger directement à partir du 30 juin 1905. C'est à cette date que s'arrêtent les renseignements de ladite relation, rédigée par le commandeur Biadego, en sa qualité d'Ingénieur, chef du service des constructions et présentée par lui à la Société de la Méditerranée, ainsi qu'au commandeur Oliva, son directeur général.

L'époque actuelle s'intéresse au passé avec trop de raison pour qu'on s'étonne qu'une préface contienne, à propos des passages des Alpes, sous les Romains et pendant le moyen âge, des données sur les vestiges existant encore, et qu'elle rappelle la construction de la route du Simplon, ordonnée par Napoléon, puis exécutée de 1801 à 1807, il y a exactement un siècle. En outre, l'une des lignes établies par la Société, aboutit à Avezzano, située au bord de l'ancien lac Fucino ; des détails sont donnés sur les conditions fort curieuses dans lesquelles les Romains ont percé, sous l'empereur Claude, un émissaire destiné à limiter la hauteur des eaux de l'ancien lac comme ceux existant aujourd'hui encore aux lacs Nemi et d'Albano. Celui du lac Fucino s'obstrua vers le vme siècle, et fut repris de 1854 à 1875, mais cette fois pour assurer le dessèchement du lac.

Cette relation est formée de deux parties : la première s'occupe d'une manière sommaire dans le chapitre Ier des cinq lignes étudiées et exécutées, savoir :

1° *De Balzorano à Avezzano* (celle aboutissant à l'ancien lac Fucino), longueur 37 039 m, approuvée le 20 août 1897 et ouverte à l'exploitation le 20 août 1902;

2° *De Capezzano à San Severino* (vers Salerne), longueur 10 821 m, approuvée le 14 janvier 1898 et ouverte le 14 janvier 1902;

Le percement du Simplon conduisit le Gouvernement italien à charger la Société d'étudier les voies qu'il convenait d'établir pour y accéder, en partant des villes de Turin, Gênes et Milan. Les résultats de cette étude sont donnés, avec cartes à l'appui, avant de traiter des trois lignes suivantes qui furent seules concédées et exécutées ;

3° *De Domodossola à Iselle*, débouché du tunnel du Simplon, longueur 19 067 m, approuvée par la loi du 20 juillet 1900 et terminée le 28 décembre 1904; le Gouvernement suisse, chargé de l'exploitation de cette

(1) In-folio 380 × 290, xxvi-382 pages à 2 colonnes avec album de même format de 71 planches. *Roma Tipografia Squarci*, 1906. N'est pas dans le commerce.

ligne, ne l'ouvrit au public que le 1er juin 1906 avec le tunnel du Simplon;

4° *D'Arona à Domodossola*, longueur 35 547 m, approuvée par la loi du 30 décembre 1901 et ouverte le 16 janvier 1905;

5° *De Sauthià à Arona par Borgomanero*, longueur 65 009 m, approuvée aussi le 30 décembre 1901. La partie de Sauthià à Borgomanero a été ouverte le 19 janvier 1905, mais le tronçon de Borgomanero à Arona ne fut terminé qu'en décembre 1905, unique retard qui eut lieu dans l'achèvement des lignes concédées, à cause des difficultés rencontrées au souterrain de Gattico, dont nous parlerons plus loin.

Toutes ces lignes sont à une seule voie, mais la troisième et la quatrième, entre Arona et Iselle, ont leurs ouvrages d'art construits pour deux voies.

En outre, la Société a été chargée d'un *Raccordement direct entre le port de Gênes, et les deux lignes des Giovi,* avec parc de wagons comprenant 24 152 m de voies, à l'exclusion de cent trois changements, et destiné à pourvoir aux besoins toujours grandissants du trafic du port. Les travaux ont été commencés par la Société le 30 juin 1904, et poursuivis par l'État à partir du 30 juin 1905.

Des chapitres spéciaux sont ensuite consacrés aux détails de chacune des lignes. Signalons en particulier la discussion (page 23) relative au tracé de Domodossola à Iselle où la situation de la tête sud du tunnel du Simplon était imposée à la Société : un souterrain hélicoïdal de 500 m de rayon, proche de cette tête, a fait gagner 50 m de hauteur environ, de manière à éviter des ouvrages d'art fort dispendieux.

Sur les lignes troisième et quatrième, entre Arona et Iselle, il n'existe aucun passage à niveau, ce qui sera fort commode pour l'application de l'électricité entre la Suisse et Arona.

La seconde partie est consacrée aux mouvements de terre, ouvrages d'art, stations et matériel de la voie.

Comme dans la première relation de 1897, les tabliers métalliques font l'objet de renseignements détaillés; ils sont complétés par diverses annexes : M. Biadego s'est fait d'ailleurs une spécialité de ces sortes d'ouvrages.

Le chapitre des souterrains avec ses trois annexes sur les tunnels de Varzo (hélicoïdal de 2 968 m de longueur, à deux voies); Faraggiano (1 163 m à deux voies) et de Gattico (3 308 à une voie) peuvent être considérés comme un supplément à l'important ouvrage de M. Biadego sur les grands percements alpins dont il a été rendu compte dans le Bulletin de décembre 1906.

Les trois lignes d'accès au Simplon, comprenant 140 km ont nécessité vingt-sept souterrains d'une longueur totale de 18 340 m qui se trouvent dans les Alpes ou leurs prolongements : les terrains rencontrés présentent naturellement une grande variété, depuis les roches les plus dures, granite et porphyre, exigeant des machines perforatrices, jusqu'aux sables boulants et aux boues des moraines avec des venues d'eau considérables, ayant nécessité l'emploi de l'air comprimé. Les difficultés rencontrées furent très diverses : il est nécessaire d'en relater quelques-unes.

Dans le tunnel de Gattico, le puits n° 3 de 57 m de profondeur a été envahi par les eaux qui se sont élevées à 27 m, en inondant tous les travaux effectués jusqu'alors : on a dû installer pour l'épuisement 400 ch avec leurs pompes. A l'avancement de ce même puits, il y a eu deux éboulements s'élevant jusqu'à la surface du terrain supérieur, à une hauteur de 36 m, avec obstruction des travaux sur 30 m. Le puits n° 4, foncé jusqu'à 23 m dut être abandonné, à cause de l'eau ; un nouveau puits foncé à côté avec l'air comprimé, arriva à la profondeur de 39 m. Lorsqu'on coupa les tôles de la paroi du puits pour entrer en galerie, ce dernier fut envahi par l'eau, le sable et des cailloux, en outre, la paroi métallique commença à se déformer sous le choc des blocs entraînés dans les vides se formant derrière elle. Il fallut renoncer à se servir de ce puits et le combler. On se décida à employer l'air comprimé, soit au moyen de caissons que permettait la largeur du souterrain à une voie, ainsi que la faible épaisseur du terrain supérieur (page 229), soit par petites galeries (pages 239 et suiv.). On employa aussi l'air comprimé au souterrain d'Arona, pour traverser des sables boulants (page 153) avec des dispositions différentes, le souterrain étant à deux voies.

Le récit détaillé de ces travaux, rédigé avec un cachet frappant de sincérité, est du plus haut intérêt. On fut assez prudent et assez heureux pour n'avoir à déplorer aucun accident mortel. Il se dégage de ces faits un enseignement bien net : il faut consulter, comme on le fit, les géologues sur le tracé projeté, mais pour le choisir définitivement, se fier aux seuls sondages préalables, et si l'on rencontre des boues de moraines, modifier le tracé afin de les éviter.

L'album de 71 planches, joint à la relation, contient les plans et détails relatifs aux travaux exécutés, ainsi que 6 planches concernant une annexe de mémoires géologiques et pétrographiques. Mais il y a dans la relation elle-même un grand nombre de panoramas et de vues d'ouvrages d'art reproduits par des photogravures des mieux réussies.

Signalons enfin que dans la lettre présentant la relation à la Société de la Méditerranée et à son directeur général, sont réunis les noms des Ingénieurs qui ont collaboré à ces ouvrages, noms qui méritent d'être conservés ainsi que ceux de MM. Oliva et Biadego, pour être inscrits sur la liste des Ingénieurs qui, à notre époque de travaux si importants, sont arrivés à surmonter habilement les difficultés les plus redoutables.

L. de Longraire.

IIe SECTION

Efforts de traction, double traction et coup de frein (1), par M. A. Herdner, Ingénieur en chef adjoint à l'Ingénieur en chef du matériel et de la traction des chemins de fer du Midi.

Dans ce mémoire, notre distingué collègue termine les études qu'il avait déjà poursuivies dans la *Revue générale des chemins de fer* de mars 1904 et de novembre 1905.

(1) In-4°, 315×220 de 15 p. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1907. Prix broché, 1 f.

M. Herdner s'est proposé de répondre à une critique formulée contre l'emploi de la double traction.

L'auteur base ses études sur des considérations théoriques ; il étudie avec méthode les variations de charge des essieux, principalement pour le premier essieu de la deuxième machine, quand la concordance de l'action motrice des deux machines vient à cesser ; il fait intervenir dans ses calculs l'influence de la variation de compression des ressorts de suspension et des ressorts d'attelages, en se basant sur ses études antérieures.

Ensuite, il cite des expériences qui ont été faites, sur sa demande, par les Compagnies de l'Est et de l'Ouest, pour vérifier les résultats de ses calculs ; ces expériences ont donné les résultats que l'auteur avait prévus.

Enfin, il étudie la variation de charge des essieux d'une machine en simple traction au moment du serrage instantané du frein.

Il convient d'ajouter que les chemins de fer anglais, notamment, ont employé pendant longtemps, avec un grand succès, la double traction des trains même les plus rapides. Cela ne veut pas dire qu'il n'y ait jamais eu de déraillements de trains remorqués par deux machines ; mais, à notre avis, en pareil cas, le déraillement est dû à des défauts de la voie ou du matériel ; on peut porter remède à ces défauts, ou exclure certaines machines de la double traction à très grande vitesse.

Il résulte de tout cet ensemble que la double traction n'est pas par elle-même une cause d'insécurité ; les chemins de fer auraient donc grand tort de se priver de ce moyen de remorquer les trains, quand ils manquent de machines assez puissantes pour assurer le service avec la traction simple, et que le dédoublement des trains offre des inconvénients.

Ajoutons que M. Herdner, au cours de ses études, fait ressortir de nouveaux principes qui peuvent servir de point de départ à de nouveaux travaux intéressants et importants pour les recherches théoriques relatives à la traction.

L'auteur a déjà étudié, d'autre part, comme on le sait, diverses questions un peu analogues dans les deux ouvrages suivants : « Recherches sur le fonctionnement des organes de suspension des locomotives » (*Rev. gén. des ch. de fer* de 1905) et « Les locomotives à l'Exposition de Liége » (*Bulletin de la Soc. des Ing. civ.* de sept. 1906).

Les recherches de M. Herdner constituent un ensemble de travaux de premier ordre qui sont appelés à rendre d'importants services pour l'étude de la stabilité des locomotives.

G. M.

IIIe SECTION.

Résistance des Carènes, par M. Fricker, Ingénieur civil des Constructions navales (1).

Cet ouvrage appartient à l'Encyclopédie des Aide-mémoires publiés

(1) In-8°, 190 × 120 de 168 p. avec 22 fig. Paris, Gauthier-Villars ; Masson et Cie, 1907. Prix, broché : 2,50 fr.

sous la direction de M. Léauté. L'auteur s'est proposé de réunir les résultats théoriques et les résultats expérimentaux aujourd'hui acquis.

Pour les premiers, il s'est astreint à les présenter en ne faisant usage que de notions élémentaires d'analyse : effort louable, encore qu'il ne prouve pas que les questions complexes ainsi traitées y gagnent en clarté.

Pour les seconds, on pourrait souhaiter plus de développements en certaines parties ; c'est ainsi que M. Fricker s'en tient, pour la résistance du plan, aux expériences rudimentaires et très incomplètes de Joëssel. Par contre, le chapitre sur les essais au bassin des modèles de navires sera lu avec d'autant plus d'intérêt qu'il a été publié fort peu de choses sur cet important sujet.

R. Soreau.

Bibliothèque du chauffeur. — *Le chauffeur à l'atelier*, par le docteur Bommier (1).

Cet intéressant ouvrage s'adresse non aux mécaniciens professionnels, mais aux chauffeurs d'automobiles qui n'ont pas fait d'apprentissage dans la mécanique. Il indique les moyens : outillage et tours de main pour arriver à exécuter les nombreuses réparations dont peut avoir besoin une voiture.

L'ouvrage comprend huit parties :

1re Partie. — Généralités sur les métaux. — En quelques pages, l'auteur donne un aperçu sur les propriétés principales des métaux ou alliages utilisés dans l'automobilisme : fer, fonte, acier, cuivre, étain, zinc, bronze, etc. ;

2e Partie. — Traitements modificateurs. — L'auteur expose dans cette partie, avec une grande clarté, les différents effets de la chauffe, de la trempe, du recuit, de la cémentation et le lecteur le plus étranger aux industries du métal pourra facilement s'assimiler les quelques notions qui sont la base de la métallurgie ;

3e et 4e Partie. — Travail des métaux. — Ici, l'auteur a très ingénieusement divisé le travail des métaux en deux parties : opérations qui ont pour but d'augmenter la masse du métal : rivetage, boulonnage, clavetage et goupillage, soudure, brasure, et opérations qui ont pour but de diminuer la masse du métal : burinage, coupe, cisaillage, limage, grattage, sciage, perçage, alésage, fraisage, taraudage, filetage, meulage, polissage ;

5e Partie. — Travail des tubes. — Ici sont exposés la formation d'un collet, pose de bride, cintrage, établissement des joints ;

6e Partie. — Travail du bois. — Après un aperçu succinct et sur les principales propriétés des bois utilisés en automobile, l'auteur traite des divers procédés d'assemblage et des principales opérations qui ont pour but de diminuer la masse du bois ;

(1) In-8°, 185 × 120 de xvi-344 p. avec 269 fig. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1907. Prix : relié, 6,50 f.

7[e] *Partie.* — *Travail du cuir.* — Ce chapitre, assez court, contient l'exposé de la manière de tailler le cuir et de l'assembler ;

8[e] *Partie.* — *Exercices d'atelier.* — C'est l'exposé d'un ensemble d'exercices consistant dans la construction de pièces ou d'accessoires utiles au chauffeur et de recettes diverses sur l'argenture, les calorifuges, le caoutchouc, le celluloïd et son collage, l'éclairage des voitures, etc.

Cet ouvrage peut rendre service non seulement aux chauffeurs, mais aussi aux amateurs mécaniciens qui occupent leurs loisirs par de petits travaux manuels.

C. C.

Notions de mathématiques supérieures (1), par Ch. Hémardinquer, préparateur à la Faculté des Sciences.

Cette brochure donne du calcul infinitésimal un exposé assez complet pour que les praticiens y trouvent des notions claires et suffisantes, assez concis pour qu'ils ne se perdent pas dans des discussions subtiles.

Des exemples, empruntés à la géométrie, à la mécanique, à la physique, illustrent ce travail, qui se tient, avec une juste mesure, entre l'aide-mémoire et les volumineux traités.

« Le grand mérite d'une telle œuvre. en dépit de son apparence modeste. c'est qu'on y trouve ce qu'on y cherche. » Telle est la conclusion de la préface qu'a écrite M. Laisant ; on ne saurait mieux dire.

R. Soreau.

La Statique graphique. — *Première partie : Principes et applications de statique graphique pure*, par M. Maurice Lévy, membre de l'Institut (2).

L'éloge de ce magistral ouvrage, depuis longtemps classique, est tout à fait superflu. Il suffit d'indiquer ici ce qui distingue cette troisième édition des premières, et nous ne pouvons mieux faire que de résumer la préface même de l'auteur.

Le chapitre relatif au passage d'un convoi sur un pont-route ou sur une voie ferrée a été complété. Quelques données pratiques y sont jointes, notamment une table numérique de M. Resal, commode pour l'étude rapide d'un avant-projet de pont à deux appuis soit pour route, soit pour chemin de fer.

Une Note donne le texte du règlemont ministériel du 29 août 1891, concernant les calculs et les épreuves des ponts métalliques.

Une autre Note donne le Règlement du 17 février 1903 sur les calculs et épreuves des halles à voyageurs et marchandises des chemins de fer.

La Note IV de l'ancienne édition est complétée sur deux points: 1° M. Maurice Lévy étudie, d'après ses communications de 1898 à l'Académie des Sciences, les systèmes plans élastiques et la marche générale à suivre pour déterminer les forces élastiques qui se déve-

(1) In-18, 180 × 120 de VII-142 p. avec 55 fig. Paris, Henry Paulin et C[ie], 1907. Prix : broché, 2 f.

(2) In-8°, 255 × 165 de XXX-598 p., avec atlas même format de 25 pl. Paris, Gauthier-Villars, 1907.

loppent dans ces systèmes ; 2° il résume les idées actuelles sur les résistances à la rupture et sur les lignes de Luders étudiées par le commandant Hartmann.

Enfin, l'importance que prennent les constructions en béton ou ciment armé a déterminé l'auteur à donner le texte de la circulaire et des instructions du ministre des Travaux publics aux ingénieurs de l'État, circulaire et instructions datées du 20 octobre 1906, et que M. Maurice Lévy a préparées en sa qualité de Président-Rapporteur de la Commission spéciale nommée par le Conseil général des Ponts et Chaussées.

Par contre, l'ancienne Note sur les planimètres et les intégrateurs a été supprimée.

Sans aucun doute, cette troisième édition sera accueillie par les Ingénieurs avec la même faveur que ses aînées.

R. Soreau.

La surchauffe de la vapeur et ses applications modernes, par M. Louis Rocher. — *Le Monde Industriel* (1).

L'auteur rappelle tout d'abord l'action économique de la surchauffe de la vapeur qui tend à supprimer les condensations à l'intérieur des cylindres, et tout spécialement pendant l'admission. Le but à atteindre est que la vapeur évolue comme un gaz et arrive encore surchauffée à la fin de la détente.

M. Rocher pose ensuite les conditions que doit remplir un surchauffeur, et il fait remarquer que l'adoption de la fonte dans le surchauffeur Schwoerer constitue une masse métallique suffisante pouvant servir efficacement de régulateur pour compenser les variations de température qui se produisent forcément dans les foyers, entre les charges par exemple.

L'auteur rappelle ensuite les nombreux essais faits sur les installations à surchauffe qui permettent de constater des économies de 20 à 25 0/0.

Enfin, en conclusions, M. Rocher ajoute que l'intermittence de la marche des machines n'influe pas sensiblement sur la température et le rendement économique de la vapeur surchauffée, et il rappelle que les gaz des hauts fourneaux utilisés pour la force motrice sont également applicables, à leur échappement des machines, sous une température de 550 degrés environ, à la surchauffe de la vapeur.

M. Schwoerer a préconisé aussi la double surchauffe pour les machines Compound, non seulement à l'admission, mais encore à l'arrivée aux cylindres à basse pression.

C. C.

(1) In-4°, 270 × 220 de 8 p. avec 8 fig. Paris, éditions scientifiques et techniques.

Le Secrétaire Administratif, Gérant,
A. de Dax.

Imprimerie Chaix, rue Bergère, 20, Paris. — 11522-6-07. — (Encre Lorilleux).

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE

BULLETIN

D'AOUT 1907

N° 8

SUR LE CALCUL

DES

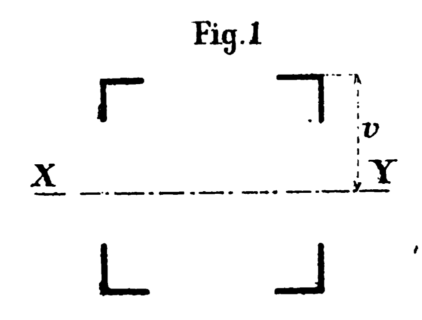
PIÈCES MÉTALLIQUES CHARGÉES DE BOUT DONT LES AMES SONT A TREILLIS

PAR

M. F. CHAUDY

J'ai montré, dans le Bulletin d'octobre 1890 de notre Société, de quelle manière peut se calculer la charge théorique maximum que peut supporter, de bout, une pièce à section constante ou variable, pour ne pas être exposée à flamber.

La théorie d'Euler ne donne pas le moyen, lorsqu'il s'agit de pièces dont les âmes sont à treillis, de déterminer la part d'influence de celui-ci, si bien que les auteurs de projets, qui ne connaissent que cette théorie, ne calculent que les dimensions à donner aux membrures et laissent de côté le calcul des barres de treillis. Ils sont ainsi exposés à employer des barres de treillis trop faibles. Or, s'il en est ainsi, on n'est plus en droit de compter sur le moment d'inertie complet des membrures. Pour fixer les idées, considérons, par exemple (*fig. 1*) un pilier métallique composé de quatre cornières réunies entre elles par un treillis en fer plat, et supposons ce pilier placé dans la situation d'un prisme chargé de bout sans encastrement à ses extrémités. Soient I le plus petit moment d'inertie des membrures, par rapport à l'axe XY passant par le centre de gravité, l la longueur du pilier et E le coefficient d'élasticité du métal. Si la résistance du treillis, dont je montrerai plus loin la détermination, est suffisante ou plus que suffisante eu égard à



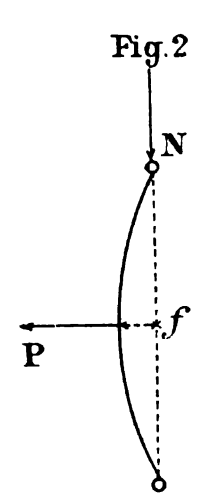
celle des membrures, la charge de bout théorique qui peut être appliquée est représentée par :

$$N = \frac{10EI}{l^2}. \qquad [1]$$

Si, au contraire, cette résistance du treillis est insuffisante, c'est-à-dire si elle ne correspond qu'à une partie ω_1 de la section ω d'une cornière des membrures, la charge de bout a pour expression :

$$N = \frac{10EI_1}{l^2} + \frac{10E(4i_2)}{l^2}, \qquad [2]$$

en désignant par I_1 le moment d'inertie, par rapport à l'axe XY, des cornières membrures réduites chacune à la surface ω_1 et par i_2 le moment d'inertie d'une seule cornière réduite à une surface $\omega_2 = \omega - \omega_1$, c'est-à-dire d'une seule cornière de surface ω_2 supposée isolée.



Ma théorie de 1890 permet de comprendre pourquoi il en est ainsi. Cette théorie montre que la charge théorique N a pour expression :

$$N = \frac{Pf}{u},$$

en désignant par u le déplacement élastique du sommet du prisme, estimé suivant la direction de la ligne moyenne et produit par une force quelconque P appliquée au milieu de la longueur du prisme normalement à cette direction, et par f le déplacement élastique du point d'application de P, estimé suivant la direction de cette force (*fig.* 2).

Le calcul rationnel du treillis réunissant entre elles les membrures, devra donc se faire en écrivant qu'il y a égalité entre le travail maximum des membrures sous l'action de P et le travail du treillis sous l'action de cette même force.

Le travail maximum dans les membrures est représenté par :

$$R_m = \frac{vPl}{4I}.$$

Le travail du treillis, supposé en fer plat de section S ne pouvant résister qu'à l'extension, a, d'autre part, pour expression *(fig. 3)* :

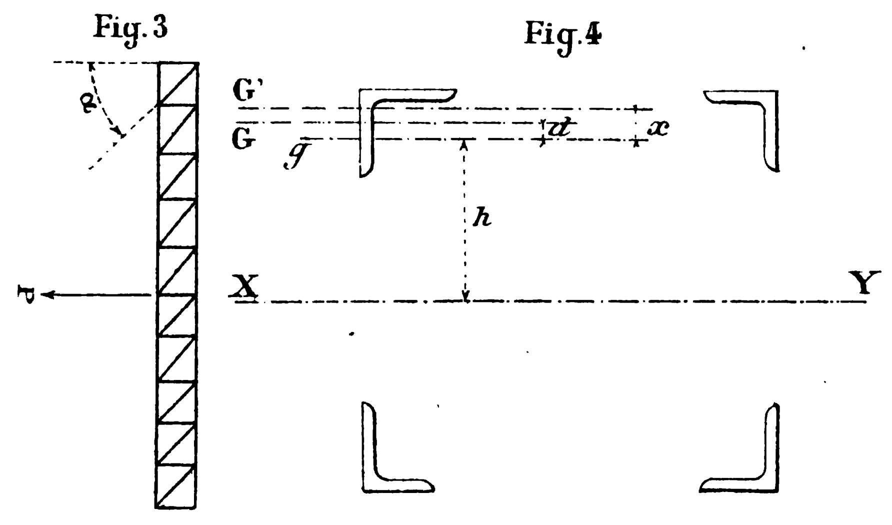
$$R_t = \frac{P}{2S \cos . \alpha}.$$

En écrivant que ces deux travaux sont égaux, on obtient :

$$S = \frac{4I.}{2vl \cos . \alpha}. \qquad [3]$$

On prendra pour l'attache de chaque barre de treillis une section de rivet égale aux $\frac{5}{4}$ de S.

Ainsi que je l'ai dit précédemment, il arrive fréquemment



que les auteurs de projets, ignorant la méthode si simple que je viens d'exposer, choisissent empiriquement la section des barres de treillis. Supposons qu'on se trouve en présence d'un prisme dans lequel les barres ont une section S_1 inférieure à la section S donnée par la formule [3].

Dans ces conditions, il n'est plus possible d'appliquer la formule [1] et c'est la formule [2] qu'il faut prendre pour trouver la valeur de la charge de bout théorique. Dans cette formule [2], il faut faire :

$$I_1 = \frac{2vlS_1 \cos . \alpha}{4}. \qquad [4]$$

Cherchons la valeur de i_2. Soit *h* *(fig. 4)* la distance entre les

axes passant par le centre de gravité de la rivure d'attache du treillis et celui de l'ensemble des quatre cornières. Soit, d'autre part, i le moment d'inertie d'une cornière seule.

On a : $$I_1 = 4\omega_1 h^2 = \frac{2vlS_1 \cos.\alpha}{4},$$

d'où on tire : $$\omega_1 = \frac{2vlS_1 \cos.\alpha}{16h_2}. \qquad [5]$$

Le centre de gravité de cette section ω_1 est en g; celui de la section ω est en G. Le centre de gravité de la section $\omega_2 = \omega - \omega_1$ se trouve donc en G′, à une distance x de g donnée par l'équation :

$$\omega d = (\omega - \omega_1)x. \qquad [6]$$

Le moment d'inertie i_2 cherché est alors :

$$i_2 = i + \omega(x - d)^2 - \omega_1 x^2 \qquad [7]$$

Certains constructeurs ont l'habitude de composer les membrures comprimées des poutres avec deux ⊔ réunis entre eux par des plats rivés comme le montre la figure 5 en coupe et en plan. Ces plats sont généralement insuffisants pour qu'il soit possible d'appliquer la formule [1] en prenant pour I le moment d'inertie de l'ensemble des deux ⊔ par rapport à l'axe XY. C'est la formule [2] qu'il faut appliquer et voici comment on calcule les valeurs de I_1 et i_2 à introduire dans cette formule.

Le moment fléchissant maximum produit par P est :

$$\frac{Pl}{4}.$$

Le travail maximum dans un ⊔ de section ω est donc représenté par :

$$R_m = \frac{Pl}{4h\omega}.$$

Soient μ_1 et μ_2 les moments fléchissants produits dans deux sections situées de part et d'autre d'une liaison ab et à une distance de cette liaison égale à la moitié de celle qui sépare deux liaisons consécutives. La différence entre les efforts longitudinaux totaux qui se produisent dans ces sections et dans une membrure est :

$$\varphi = \frac{\mu_2 - \mu_1}{h}.$$

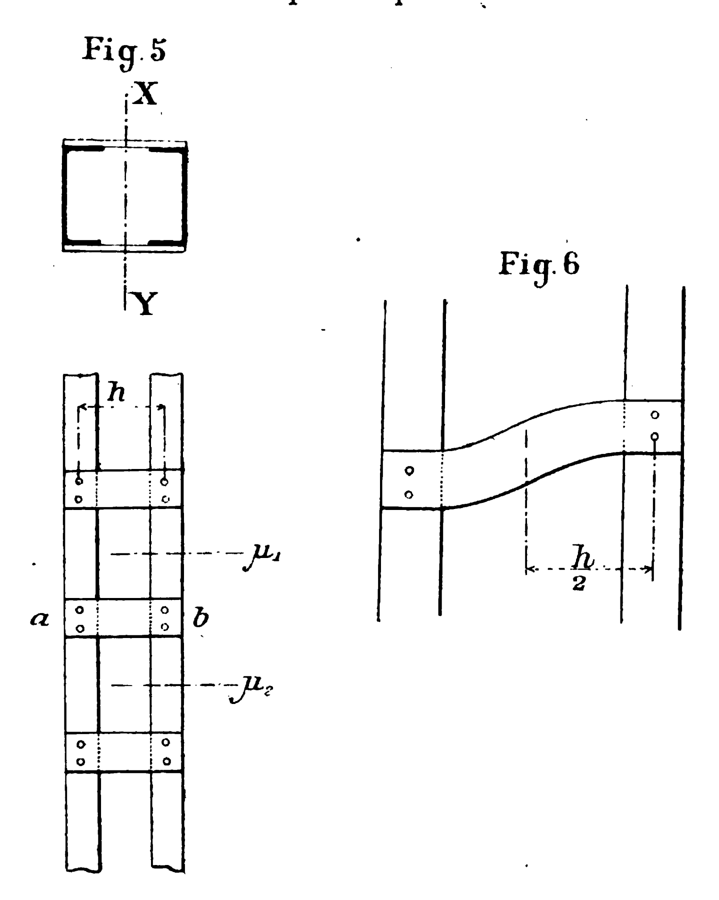
Cet effort φ produit, dans les deux barres *ab*, un moment fléchissant de :

$$\frac{\varphi h}{2}.$$

En désignant par $\frac{i'}{v'}$ le module d'inertie de ces deux barres, leur travail est donc exprimé par :

$$R_t = \frac{v'\varphi h}{2i'}.$$

Ce travail est le même quelles que soient les barres *ab* que



l'on considère, parce que la différence $\mu_2 - \mu_1$ est constante, puisque μ varie suivant les ordonnées d'une ligne droite. Pour pouvoir appliquer la formule [1] du flambage, il faudrait que

les plats de liaison des ⊔ aient un module d'inertie tel que l'on ait :

$$R_t \leqslant R_m.$$

En général on a, au contraire, $R_t > R_m$. On détermine alors ω_1 au moyen de l'équation :

$$\frac{Pl}{4h\omega_1} = \frac{v'\varphi h}{2i'}, \qquad [8]$$

qui est indépendante de P.

Connaissant ω_1 on calcule :

$$I_1 = \frac{\omega_1 h^2}{2},$$

puis ensuite on applique les formules [6] et [7] à un ⊔, absolument comme on les applique à une cornière dans le cas d'un prisme comportant quatre cornières semblables.

Il faut remarquer que l'attache des plats de liaison *ab* doit être réalisée à chaque extrémité de plat par au moins deux rivets. Si ces deux rivets sont écartés l'un de l'autre de δ et travaillent à simple section, l'effort total de cisaillement qui s'exerce sur une section de rivet a pour expression :

$$\frac{\varphi h}{4\delta}$$

et, par suite, le travail de cisaillement pour la section ω' d'un rivet est :

$$R_t = \frac{\varphi h}{4\delta\omega'}.$$

Il arrive souvent que l'application de la formule :

$$\frac{4}{5} \times \frac{Pl}{4h\omega_1} = \frac{\varphi h}{4\delta\omega'} \qquad [9]$$

donne pour ω_1 une valeur inférieure à celle que donne l'application de la formule [8]. Cela tient à ce que la rivure d'attache des plats de liaison est trop faible par rapport à la résistance des plats eux-mêmes. Il faut dans ce cas, dans l'application de la formule [2] du flambage, partir de l'équation [9] et non de l'équation [8]. Si on faisait autrement, on trouverait pour N une charge qui serait susceptible de faire flamber le prisme par rupture des rivets d'attache des plats de liaison des ⊔.

Dans la formule [9], le coefficient $\frac{4}{5}$ qui affecte le premier membre est placé là pour tenir compte de ce que le travail de cisaillement des rivets doit être les 4/5 du travail des pièces attachées.

Afin de faire ressortir l'influence des liaisons entre les deux ⊔ sur la capacité de résistance de la pièce à une charge de bout, il est nécessaire de faire une application numérique.

Considérons une pièce de 6,25 m de longueur composée de deux ⊔ de $\frac{250}{15} \times 85$ chacun réunis entre eux par des plats de 130×8, écartés de 1,041 m d'axe en axe. Chacun de ces plats est attaché sur une aile d'⊔ par deux rivets de 16 mm, écartés de 0,065 m d'axe en axe, et la distance entre axes des rivets d'attache des deux extrémités d'un plat est de 0,296 m.

1° *Application de la formule* [8].

Le premier membre de la formule a pour valeur, en faisant $l = 6,25$ et $h = 0,296$:

$$\frac{Pl}{4h\omega_1} = 5,278 \frac{P}{\omega_1}.$$

Au milieu de la longueur de la pièce, l'effort longitudinal total dans un ⊔ est :

$$\frac{Pl}{4h} = 5,278P.$$

Dans une section située à 1,041 m de la précédente, l'effort longitudinal total dans un ⊔ est :

$$\frac{P}{2 \times 0,296}\left(\frac{6,25}{2} - 1,041\right) = 3,520P.$$

On a donc :

$$\varphi = (5,278 - 3,520)P = 1,758P.$$

Les deux plats de 130×8 qui supportent cet effort donnent ensemble, déduction faite des trous de rivets :

$$\frac{i'}{v'} = 0,000.036.$$

Le deuxième membre de la formule [8] a donc pour valeur :

$$\frac{1,758 \text{ P} \times 0,296}{2 \times 0,000.036} = 7.222\text{P}.$$

L'équation [8] est ainsi :

$$\frac{5,278\text{P}}{\omega_1} = 7.222\text{P}.$$

On en tire :

$$\omega_1 = \frac{5,278}{7.222} = 0,000.730 \text{ m}^2.$$

Calculons maintenant I_1 et i_2 pour pouvoir appliquer la formule [2] du flambage. On a d'abord :

$$I_1 = \frac{\omega_1 k^2}{2} = \frac{0,000.730 \times \overline{0,296}^2}{2},$$

$$= 0,000.031.980.$$

La section ω d'un ⊔ est de 0,005.428. Son centre de gravité est à une distance d de l'axe des rivets d'attache des plats, qui est de 0,030 64 m. L'équation [6] donne alors :

$$x = \frac{5.428}{5.428 - 730} \times 0,03064 = 0,0354 \text{ m}.$$

Le moment d'inertie i d'un ⊔ est :

$$i = 0,000.002.348.004.$$

La formule [7] donne alors :

$$i_2 = 0,000.001.556.$$

L'application de la formule [2] donne par suite pour valeur de la charge de bout limite, en prenant $E = 22 \times 10^9$ (acier) :

$$N = \frac{10EI_1}{l^2} + \frac{10E(2i_2)}{l^2}$$

$$= 180.122 + 17.527 = 197.649 \text{ kg}.$$

Si l'on faisait abstraction des liaisons des ⊔ par les plats de 130 × 8, la valeur de N serait seulement de :

$$N = \frac{10E(2i)}{l^2}$$

$$= 26.449 \text{ kg}.$$

On voit donc que l'influence de ces plats est grande. Il faut remarquer toutefois que la liaison ainsi établie n'est pas suffisante pour permettre d'appliquer la formule [1] du flambage, puisqu'il n'y a qu'une faible part $\omega_1 = 730$ de la section d'un ⊔ ($\omega = 5.428$) qui peut entrer en ligne de compte dans le calcul de I.

2° *Application de la formule* [9].

On a : $\delta = 0{,}065$ et $\omega' = 0{,}000.201$.

La formule [9] donne alors :

$$\omega_1 = 0{,}000.423 \text{ m}^2.$$

Ce premier résultat montre que la rivure est faible par rapport à la résistance propre des plats de liaison, puisque la considération seule de cette dernière résistance conduit à attribuer à ω_1 une valeur de 0,000.730. En fait, il ne faut donc compter que sur une charge de bout limite calculée au moyen de la formule [2] dans laquelle I_1 et i_2 sont déduits de valeur ci-dessus trouvée pour ω_1.

On obtient ainsi :

$$I_1 = 0{,}000.018.487.$$

$$i_2 = 0{,}000.001.918.$$

$$N = 103.519 + 21.611 = 125.130 \text{ kg}.$$

Ce résultat est encore supérieur à celui qu'on obtient en considérant les deux ⊔ isolément.

La charge théorique de bout est donc comprise entre 125.130 kg et 197.649 kg, mais elle est plus voisine de ce dernier nombre que du premier, parce que la raideur des barres de 130 × 8, à laquelle correspond le nombre 197.649 kg, n'est diminuée que dans les sections des rivures d'attache.

CONSTRUCTION

DU

PHARE DE SANGANEB

(MER ROUGE)

PAR

M. M. CHARVAUT

Le Gouvernement anglo-égyptien du Soudan voulant faciliter l'écoulement des produits de cette contrée décidait, en 1902, de relier le Haut-Nil à la mer Rouge, en construisant un chemin de fer allant de Berber, sur le Nil, au nord de Khartoum, à Souakim, port de la mer Rouge. Il est facile de se rendre compte de l'importance énorme de cette voie ferrée qui permet les communications avec l'Afrique équatoriale, le Barh el Gazal, l'Abyssinie, etc.; il était donc nécessaire que le chemin de fer aboutisse sur la mer Rouge dans un port présentant les plus grandes facilités pour un important mouvement de navires.

Or, Souakim est d'un accès très difficile, la route des navires, soit au nord, soit au sud, est bordée de récifs de coraux rendant la navigation dangereuse, le port lui-même ne se prête pas à une grande extension de trafic. Aussi le Gouvernement adopta, en 1904, pour port terminus du chemin de fer Nil-mer Rouge, Cheik el Barougd, situé à 25 milles au nord de Souakim, en dehors de la ligne des récifs, où il existait une rade naturelle spacieuse et d'accès facile. Il n'y avait aucune installation à Cheik el Barougd, pas le plus petit village, pas d'eau douce et c'était en plein désert que devait être érigée une ville nouvelle que l'on appela Port-Soudan (*fig. 1 et 2, Pl. 146*).

En 1905, des recherches furent faites pour trouver l'eau douce nécessaire à l'alimentation de la nouvelle cité, une ville provi-

soire en bois fut construite en plein désert; les travaux du port étaient commencés et l'on mettait en construction les bâtiments pour le service sanitaire, les bureaux, le gouvernorat, l'hôtel des postes, les hôpitaux, les casernes, les écoles, les ateliers, d'immenses magasins pour le service du port et de la douane.

Tous ces travaux sont en cours, et actuellement la question de l'eau n'est pas encore résolue d'une façon satisfaisante. Les essais de puits artésiens ne donnant aucun résultat, l'eau d'alimentation, de mauvaise qualité, est prise dans des puits situés à quelques kilomètres du port, et amenée par une canalisation en quantité tellement minime que nous avons dû assurer notre ravitaillement en eau douce en la prenant directement au puits et en la transportant dans des outres jusqu'à nos magasins de Port-Soudan.

On étudie actuellement la captation de sources dans les montagnes situées à 30 km de la ville, ce qui permettrait d'avoir une eau de bonne qualité en quantité suffisante.

Le chemin de fer était mis en exploitation en 1906 et amenait presque aussitôt à Port-Soudan des quantités importantes de gommes, de coton, et autres produits du Soudan. Notons en passant que la voie ferrée, hâtivement construite, est fort souvent endommagée et demandera d'importantes modifications pour pouvoir être utilement exploitée.

Pour assurer aux navires l'entrée facile de nuit et de jour à Port-Soudan, il était nécessaire de signaler le récif de Sanganeb qui se trouve sur la route des navires à 13 milles à l'est de Port-Soudan. En même temps que l'on commençait l'aménagement du port et la création de la ville, l'Administration des Ports et Phares du Gouvernement Égyptien mettait en adjudication la construction d'un phare sur ce récif.

L'Administration indiquait que le phare devrait être construit en forme de tour en fer à treillis, la hauteur de la ligne focale devait être de 50,30 m au-dessus de la marée haute, le feu de premier ordre, à éclats, avec lampe à pétrole. Elle recommandait la construction sur pieux à vis, enfoncés dans le corail, et demandait que les logements des gardiens soient construits dans l'intérieur de la tour, en bois ignifugés et que des soins particuliers soient pris pour abriter contre la chaleur les habitations et la lanterne, le climat étant très chaud; enfin la résistance à la pression du vent devait être de 267 kg par mètre carré.

Les offres étaient remises le 1er juillet 1905, et parmi les dif-

.érents projets présentés le Gouvernement adoptait celui dressé en collaboration par MM. Schneider et Cie, Guétin et Charvaut, et la Société des Établissements Henry Lepaute.

MM. Schneider et Cie avaient étudié spécialement tout ce qui concernait les parties métalliques, l'aménagement du phare, la constitution des logements etc.

MM. Guétin et Charvaut qui avaient fait sur le récif et à Cheik el Barougd les études nécessaires à l'établissement des fondations devaient être chargés de l'exécution sur place des travaux et du montage de la tour métallique.

Les Établissements Henry Lepaute, enfin, avaient à leur charge l'étude et l'exécution de tout ce qui concernait la partie optique.

Le projet écartait la fondation sur pieux à vis recommandée par l'Administration, en raison de la difficulté ainsi que du peu de sécurité que donne le vissage de pieux sur du corail résistant, et étant donnée également la difficulté d'installation sur le récif submergé. MM. Guétin et Charvaut signalaient que l'emploi des pieux à vis prévus pour les appontements de Gebel Tor (mer Rouge) construits par eux sur des coraux semblables à ceux de Sanganeb avait dû être abandonné après plusieurs essais infructueux.

La solution adoptée consiste dans la construction d'un massif résistant en maçonnerie dans lequel se trouve noyée une couronne octogonale métallique solidement entretoisée de 1,50 m de hauteur servant de base et sur laquelle les montants de la tour viennent s'encastrer.

La construction dans l'eau, sur le récif constamment balayé par les lames, du massif de maçonnerie, était faite de la façon suivante :

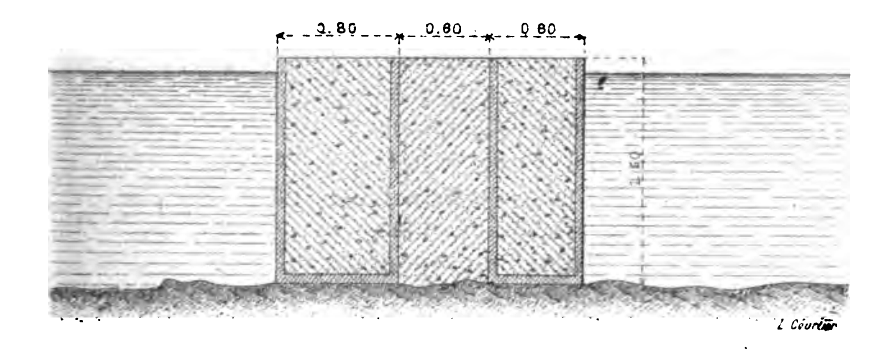
Une première série de blocs de 2 m de longueur, 1,50 m de hauteur et 0,80 m de largeur était immergée à l'emplacement du phare formant une ceinture extérieure pouvant résister à l'action de la lame et limitant la plate-forme octogonale formant le massif de fondation.

Une deuxième série de blocs était ensuite mise en place à 0,60 m de la première, formant une deuxième ceinture intérieure. Dans l'intervalle de 0,60 m entre les deux séries de blocs, nous coulions dans l'eau du béton de ciment à fort dosage de façon à constituer une enceinte à peu près étanche sur laquelle on pouvait s'installer et à l'intérieur de laquelle il était

possible de travailler en eau calme au décapage du sol, au coulage du béton de ciment et à la mise en place de la couronne métallique.

Les blocs employés étaient des blocs flottants, creux, en ciment armé; ces caissons, faits à Suez, étaient transportés à Sanganeb, débarqués au récif, flottés jusqu'à leur emplacement et remplis alors de béton de ciment. MM. Guétin et Charvaut avaient déjà employé ce système très pratique pour la construction des jetées à Gebel Tor par des fonds de 2,50 m.

La plate-forme en béton était complétée par une maçonnerie



de moellons de 1,50 m d'épaisseur sur laquelle était établi un parapet en maçonnerie.

Cette plate-forme était prolongée par un appontement de 150 m de longueur allant jusqu'aux fonds de 5 m, pour permettre le débarquement, cet appontement était composé de piles formées par des blocs flottants en ciment armé, remplis de béton de ciment; sur ces piles, des poutres en bois et un platelage de pitchpin.

La couronne métallique avait été prévue noyée dans le massif de 3,30 m en dessous du niveau supérieur de ce dernier, de façon à utiliser pour la résistance au renversement sous l'action du vent, le poids de toute la maçonnerie disponible; l'Administration demanda le relèvement de la couronne afin de ne pas avoir une partie des montants de la tour enfoncée dans le massif et demanda l'arasement de la partie supérieure de la couronne avec le niveau de la plate-forme. On chercha à compenser dans une certaine mesure la diminution de stabilité qui en résulte par des ancrages au nombre de huit qui furent disposés à chaque sommet de la couronne. Ils furent constitués chacun par deux

boulons de 57 mm de diamètre terminés à leur partie supérieure, au niveau supérieur de la couronne par des écrous en bronze ; à la partie inférieure, soit 1,50 m au-dessous de la couronne, ces boulons sont fixés par leur tête à deux groupes placés à 90 degrés de fers en ⊓ de 1,75 m de longueur.

La tour octogonale est constituée par huit fermes à treillis rayonnant d'un noyau central et entretoisées extérieurement suivant les huit faces ; le noyau central renferme un escalier circulaire ouvert dans toute la partie située sous les logements des gardiens, soit sur une hauteur de 11 m et fermé sur tout le reste de sa hauteur. La partie supérieure de la tour supporte une chambre de service placée sous la chambre d'éclairage de la lanterne à laquelle elle est réunie par un escalier intérieur ; cette chambre de service est à double paroi formée par un bordé en tôle et un lambrissage de chêne ; elle est ventilée entre ces deux parois *(fig. 5, 6, 7, 8, 9, 10 et 11, Pl. 146)*.

Les logements des gardiens sont situés dans le corps de la tour ; le projet comprenait un seul étage de logement; sur la demande de l'Administration un deuxième étage fut établi.

Le premier étage comporte un dégagement central auquel on accède par l'escalier de la tour et six pièces formant magasin ; ces pièces sont entourées par un promenoir réuni par une passerelle à un magasin à pétrole isolé sur un pylône.

Le deuxième étage comprend un dégagement auquel on accède par l'escalier central de la tour, cinq chambres à coucher, une cuisine, une salle à manger; ces chambres sont avec balcon. Les W. C. et les bains primitivement prévus à l'étage ont été établis dans une annexe, construite sur la plate-forme en maçonnerie.

Les logements sont constitués par des armatures métalliques, poteaux, traverses et sablières, tous les garnissages tant intérieurs qu'extérieurs sont en briques de liège pour protéger ces logements contre la chaleur. Ces briques de liège posées au au plâtre sont également enduites au plâtre. Il y a lieu de remarquer que les huit cloisons rayonnantes intérieures, placées suivant la direction des huit fermes de la tour sont à double paroi en brique de liège avec circulation d'air, le plafond supérieur est composé de panneaux de liège reposant sur des fers à vitrage et la couverture est en cuivre rouge de 2 mm d'épaisseur posé sur voligeage en pitchpin.

Le plancher inférieur des magasins est en carreaux de ciment

reposant sur voûtelettes en béton de ciment entre fers à planchers fixés sur la charpente de la tour.

Le plancher des chambres du deuxième étage est constitué par du parquet jointif posé sur solives en bois.

Le plancher du promenoir et de la passerelle est en bois de chêne ignifugé.

Une petite grue à bras pivotante de 1000 kg de puissance avec une portée de 4,500 m placée près du magasin à pétrole sert au débarquement des divers objets d'approvisionnement du phare.

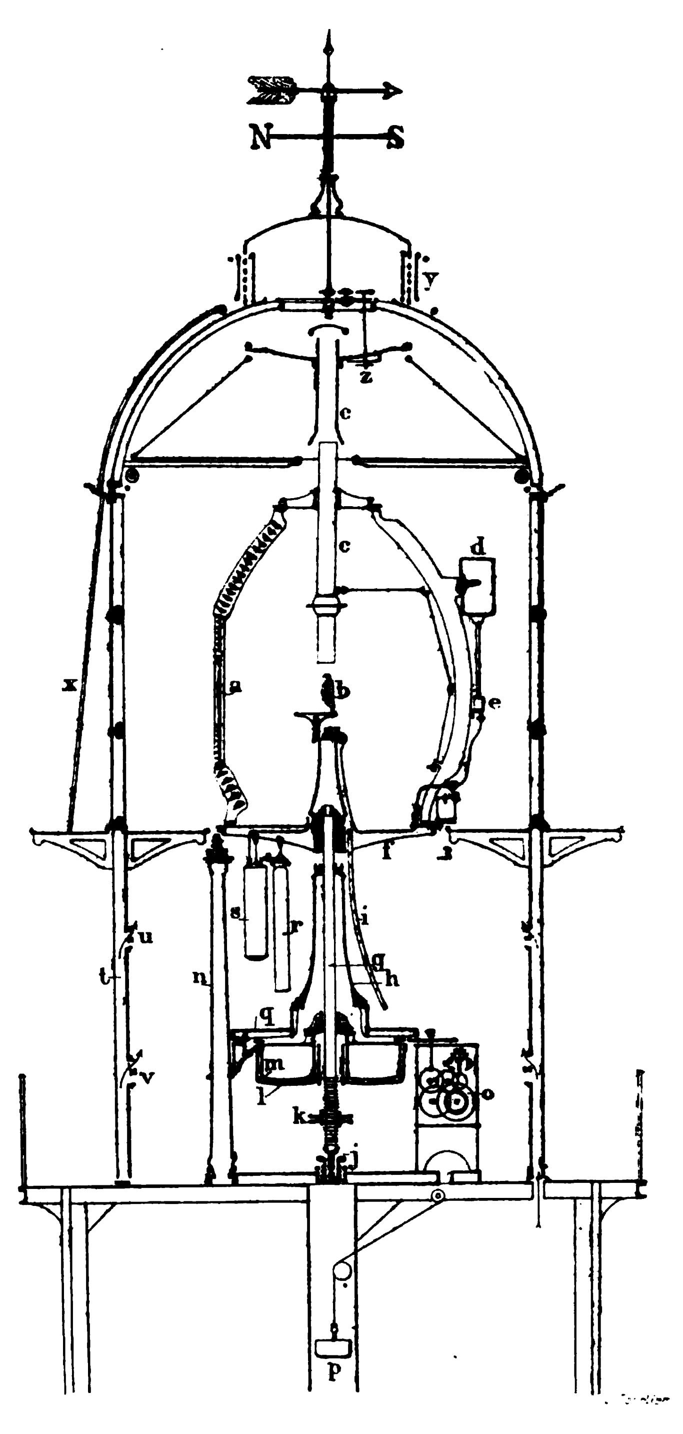
L'alimentation en eau douce du personnel du phare a été prévue au moyen de quatre réservoirs métalliques galvanisés de 6 m^3 chacun de capacité noyés dans le massif même de la maçonnerie de la plate-forme pour les soustraire autant que possible à l'action de la chaleur. Ces réservoirs par une tuyauterie spéciale peuvent être conjugués deux à deux et de petites pompes rotatives mues à bras peuvent en élever l'eau jusqu'au deuxième étage des logements, soit 16 m environ de hauteur. Enfin, une communication par tube acoustique est installée entre la chambre de service et les logements.

D'après les conditions imposées au programme, l'ossature métallique du phare a été calculée pour résister à un vent exerçant une pression de 267 kg par mètre carré. Pour évaluer cette pression, on a supposé que le vent agissait intégralement d'une part sur une surface égale à la section diamétrale des parties cylindriques sans tenir compte du glissement sur les parois courbes et d'autre part sur la moitié seulement de la surface limitée par le contour des parties à treillis. Sous l'influence de cette pression et des charges verticales totales, la limite du travail du métal (acier) par mètre carré de section nette a été prise égale à 9 kg 5 ; cette valeur n'est d'ailleurs atteinte dans aucune pièce.

L'optique de premier ordre et de 0,92 m de distance focale se compose de quatre lentilles annulaires donnant toutes les cinq secondes un éclat à lumière blanche.

Elle repose sur un plateau en fonte supporté par un arbre vertical en acier, guidé à sa partie supérieure par un coussinet et reposant à sa partie inférieure au moyen d'un pivot démontable en acier sur une crapaudine en bronze munie d'un grain d'acier.

L'armature proprement dite comporte trois colonnes avec



Appareil de 1er ordre à éclats équidistants de 5 en 5 secondes
de 0,92 de distance focale

LÉGENDE DE LA FIGURE

---

a Optique en quatre panneaux, de 0,92 m de distance focale.
b Brûleur pour manchon de 55 mm.
r Réservoir à acide carbonique.
s Réservoir à pétrole.
c Cheminée d'évacuation des gaz.
d Lampe à niveau constant.
e Godet de niveau.
f Plateau supportant l'optique.
g Arbre vertical.
h Colonne centrale portant le coussinet de centrage supérieur.
i Échelle servant au gardien pour entretenir le brûleur pendant la marche.
j Crapaudine inférieure.
k Écrou de descente de la cuve.
l Cuve.
m Flotteur calé sur l'arbre vertical et supportant l'ensemble de la partie mobile.
n L'une des trois colonnes supportant le chemin intermédiaire et les vérins.
o Machine de rotation.
p Poids moteur.
q Chemin de service.
t Cloison à double paroi de la lanterne.
u Registres supérieurs.
v Registres inférieurs.
x Échelle d'accès à la coupole.
y Cheminée à chicanes.
z Indicateur de la direction du vent.

---

chemin intermédiaire, colonne centrale supportant le coussinet supérieur et cuve à mercure de dimensions réduites placée au-dessous du chemin.

Cette disposition présente sur le système à cuve annulaire supérieure avec trou d'homme l'avantage de réduire à son minimum la résistance mécanique du flotteur immergé dans la cuve à mercure et par suite de diminuer la charge motrice dans une notable proportion.

Pour entretenir le brûleur ou le bec éclairant l'appareil, le gardien monte sur l'échelle suspendue au-dessous du plateau de l'appareil.

La cuve est facilement démontable, il suffit en effet de caler l'appareil sur les vérins placés à la partie supérieure des colonnes, de faire reposer cette cuve sur l'écrou vissé à la partie inférieure de l'arbre et de tourner cet écrou dans le sens du dévissage pour la descendre : on peut alors nettoyer le mercure avec la plus grande facilité.

Brûleur à incandescence. — Dans ce système le pétrole liquide est injecté dans un vaporisateur chauffé par la flamme elle-même, la vapeur de pétrole produite se mélange à l'air pour alimenter le brûleur et par sa combustion porte à l'incandescence le manchon.

L'injection du pétrole est produite au moyen d'acide carbonique sous pression remplaçant l'air comprimé employé dans certains appareils ; un détendeur placé entre le réservoir à pétrole et le réservoir à acide carbonique sert à rendre sensiblement constante la pression au brûleur ; cette pression ne doit pas dépasser 2,500 kg.

Lampes à niveau constant. — Pour parer à toute éventualité d'arrêt de l'éclairage, on a disposé parallèlement au dispositif à incandescence une lampe à niveau constant toujours prête à fonctionner et qui peut alimenter un bec à six mèches ; ce dernier peu se substituer instantanément au brûleur. Il n'y a donc à craindre aucune interruption de service.

Machine de rotation. — La machine de rotation est calculée pour faire effectuer à l'appareil un tour complet en vingt secondes, elle est munie d'un dispositif permettant d'entretenir la rotation pendant le remontage du poids moteur ; elle comporte un avertisseur électrique prévenant le gardien du ralentissement ou de l'arrêt de l'appareil.

Lanterne de 3,50 m de diamètre. — La ventilation de cette lanterne a été spécialement étudiée en vue de l'application au phare de Sanganeb pour éviter la rentrée de l'air chaud extérieur *(fig. 1, Pl. 147).*

Le soubassement est à double paroi (tôle extérieure et lambrissage en bois de teck intérieur) une circulation d'air se produit entre les deux parois ; l'air est prélevé au-dessous du plancher à l'ombre, une double rangée de registres permet d'activer la circulation ou de la réduire à l'intérieur de la chambre de l'appareil, une large cheminée à chicanes placée à la partie supérieure de la coupole permet l'évacuation facile des gaz de la combustion.

L'intensité du faisceau obtenue au moyen du brûleur à incandescence est environ le triple de celle produite par le bec à huile minérale ; la portée du feu pourrait ainsi varier de 40 milles par temps moyen à 85 milles environ par temps clair dans le cas où le foyer lumineux serait placé à une hauteur suffisante; ces portées considérables ne sont jamais atteintes pratiquement puisque la portée réelle de feu est limitée à sa portée géographique, c'est-à-dire à celle due à l'élévation du foyer lumineux au-dessus du niveau de la mer, mais elle prouve la puissance de pénétration du faisceau qui pourra être aperçu par un temps brumeux à une distance suffisante dans tous les cas.

Rotation. — Nous ajouterons que le poids de la partie mobile s'élève à 4 200 kg. La rotation de l'appareil à raison de 20 secondes est assurée par le mouvement d'horlogerie (machine de rotation) avec un poids moteur de 70 kg descendant de 3 m. à l'heure.

Le contrat était signé en septembre 1905 et les travaux étaient immédiatement commencés aux chantiers de MM. Schneider et Cie à Chalon-sur-Saône et aux ateliers de la Société des Établissements Henry Lepaute à Paris.

MM. Guétin et Charvaut s'occupaient également des approvisionnements de matériaux. Je partais le 25 octobre sur notre navire le *Fortuna* avec 30 ouvriers, des mules, de la voie ferrée des wagonnets et de l'outillage.

Les travaux nécessitaient 2 500 m³ de caillasse, 2000 m³ de pierre, 2500 m³ de sable, 1000 tonnes de ciment.

Une partie du sable pouvait être dragué sur le récif même, le reste pouvait être extrait au bord de la mer à l'entrée de Port-Soudan

Après différents tâtonnements, nous décidions d'extraire la caillasse dans les terrains situés au fond de la baie de Port-Soudan; on pouvait avoir en cet endroit en criblant le sable du gravillon d'excellente qualité qui était amené au bord de la mer au moyen d'une voie Decauville de 1 500 m se prolongeant sur un appontement de 80 m de longueur permettant le chargement direct en barque.

Pour le moellon nous installions des carrières au bord de la mer dans le port même, à proximité du terrain qui nous avait été concédé par le Gouvernement pour l'établissement de nos dépôts et magasins. La pierre à cet endroit était constituée par un conglomérat très dense et de bonne qualité. Le moellon piqué pour le parement devait être pris à Suez et transporté tout taillé au récif; les angles en granit de la plate-forme devaient être extraits dans les montagnes à 60 km à l'Ouest de Port-Soudan à proximité de la voie ferrée.

Nous installions à côté des magasins des réservoirs pour nous créer une réserve d'eau douce, et un appontement était construit en face des magasins permettant l'accostage des barques à côté de nos dépôts dans un endroit du port où notre matériel flottant pouvait s'ancrer sans gêner le trafic.

Je rentrais à Suez avec le *Fortuna* le 10 novembre et nous mettions immédiatement en construction les blocs en ciment armé, sur le quai même de Port-Tewfick, de façon à permettre un chargement facile sur notre navire.

La première ceinture extérieure nécessitait :

Quarante-cinq blocs de 2 × 0,80 × 1,50 m, seize blocs d'angle;

La deuxième ceinture :

Quarante et un blocs de 0,60 m de large, seize blocs d'angle.

Nous avions prévu dix blocs supplémentaires qui devaient être immergés sur le récif et nous fournir des points d'appui pour l'installation des logements provisoires.

L'armature des blocs était constituée par deux ceintures horizontales rectangulaires, en fer de 15 mm, l'une à la partie inférieure, l'autre à la partie supérieure; trois cadres verticaux en fer de 15 mm, un au milieu de la largeur, les deux autres à chaque extrémité du bloc; pour ces deux derniers cadres les bouts étaient recourbés à la partie supérieure pour former quatre anneaux permettant la manutention du bloc, le reste de l'armature était en fer de 10 mm formant treillis à mailles de 12 cm.

Les armatures en fer étaient placées sur un plancher en madriers établi sur le quai; pour le coulage nous placions d'abord pour chaque bloc le banchage extérieur en madrier; le fond de 0,06 m d'épaisseur était ensuite coulé: puis, le ciment légèrement pris, le banchage intérieur était posé, les parois coulées en 0,06 m d'épaisseur; le débanchage était fait après douze heures.

Le 12 décembre, un mois après avoir commencé le coulage les blocs étaient chargés dans la cale du *Fortuna*.

Pour manier ces blocs à la grue, nous nous servions des anneaux ménagés aux quatre angles, en interposant un cadre en bois de façon à ne pas opérer sur l'armature de traction pouvant amener la rupture du ciment.

Le *Fortuna* partait le 13 décembre pour Sanganeb, emportant, en dehors des blocs, tout le matériel nécessaire, deux petits chalands pontés destinés au service sur le récif, quatre-vingts grosses poutres en sapin de 10 à 12 m de longueur et de 40 cm d'équarrissage une grande quantité de bois, madriers et planches de toutes dimensions, des tréteaux en fer, démontés, pour installer un appontement provisoire; une petite grue sur wagonnet; de la voie ferrée et des wagonnets; des réservoirs pour l'eau douce; tout l'outillage nécessaire; 100 t de ciment, de la pierre et du sable pour exécuter de suite les premiers travaux; des vivres de toutes sortes; — quatre-vingts hommes étaient également embarqués, maçons, manœuvres, charpentiers, forgerons, marins ainsi que le personnel (*fig. 2, Pl. 147*).

Port-Soudan offrait peu de ressources pour le recrutement des ouvriers. Ceux attirés à Port-Soudan par l'annonce des grands travaux étaient généralement mauvais et indisciplinés; les indigènes sont mous et inhabiles pour les travaux exigeant un certain effort. Nous avions décidé de choisir dans nos ouvriers arabes du Caire un personnel d'élite encadré par des ouvriers européens dont nous étions sûrs.

Le 20 décembre, le *Fortuna*, navire de 700 t, s'ancrait dans l'intérieur du récif à 1 500 m de l'emplacement du phare. Notre matériel flottant déjà arrivé à Port-Soudan comprenait quatre grandes barques à voiles appelées « sambouks », trois de 100 t destinées au transport des matériaux, une de 30 t devant rester à Sanganeb pour le service dans l'intérieur du récif, en outre un remorqueur de 120 t, le *Prospector*, était destiné à relier le récif à Port-Soudan, au remorquage des barques de matériaux et au ravitaillement en eau douce et en vivres.

Le récif de Sanganeb est constitué par des coraux qui s'étendent sur 3 milles environ de longueur du Sud au Nord et sur une largeur de 1/2 à 3/4 de mille *(fig. 3, Pl. 146)*.

A l'extérieur entourant le récif, une ceinture de coraux de 80 à 100 m de largeur sauf dans la partie sud où cette largeur atteint 300 m, sur laquelle la profondeur d'eau est de 1,50 m. Cette ceinture se termine à pic du côté extérieur sur des fonds de 400 à 600 m : elle est interrompue à l'Ouest sur une longueur d'environ 1 mille laissant une passe permettant l'accès dans l'intérieur du récif par des fonds de 10 à 25 m.

Au nord l'intérieur du récif entre la ceinture est libre et présente des fonds de 50 m. Au sud de la passe le récif est coupé transversalement par des bancs de coraux de 60 à 80 m de largeur affleurant presque le niveau de la mer; entre ces bancs les fonds varient de 10 à 50 m.

Le premier banc présente deux passes, l'une à l'Est, l'autre à l'Ouest, permettant le passage d'un grand navire, ce qui a permis au *Fortuna* de venir s'ancrer au Sud du banc où il se trouvait abrité de tous côtés.

Le deuxième banc présente une passe très étroite de 15 m de largeur, et de 2,50 m seulement de profondeur.

Le troisième banc peut être facilement traversé en barque en différents endroits pour permettre d'accoster à la partie sud de la ceinture où le phare devait être construit.

Nous avions fait au préalable baliser ces différentes passes.

La partie sud de la ceinture de coraux a une largeur d'environ 300 m et les fonds y varient de 0,80 à 1,50 m; au milieu se trouvait un beacon, mât soutenu par un massif de pierre sèches et signalant le récif aux navires. Il existait au Nord de la ceinture en son milieu de l'Est à l'Ouest un appontement de 30 m de longueur, composé de piles en maçonnerie et fer à I permettant l'accostage au Nord par des fonds de 5 m; la pile d'extrémité de cet appontement a été consolidée pour servir de point de départ à notre installation provisoire et de pile de tête à l'appontement définitif.

Différents sondages avaient été faits dans le voisinage du beacon; la surface est irrégulière; dans quelques endroits le corail mort constitue une surface plane présentant l'aspect et la dureté du marbre; par place on trouve à la surface une couche de sable de 10 à 20 cm d'épaisseur composé de débris de coraux

et de coquillages; en d'autres endroits le fond est hérissé de fleurs de corail affleurant presque la surface de la mer.

Il résulte des sondages que le récif est constitué par un premier banc de corail mort excessivement dur de 1 m à 1,80 m d'épaisseur; au-dessous se trouve une couche tendre semblable au sable de la surface d'une épaisseur de 1,50 m, ensuite une nouvelle couche de corail dur de 1,80 m à 2 m, puis une nouvelle couche de débris très tendres. A l'extrémité, à pic sur les grands fonds, les parties sablonneuses ayant été enlevées par les lames, les deux premiers bancs surplombent sur la mer, laissant des vides allant jusqu'à 10 m; dans l'intérieur du récif, ces deux bancs sont reliés et soutenus de place en place par des parties de corail dur formant de véritables piliers.

On trouve sur le récif les types de poissons les plus divers et les plus extraordinaires comme forme et comme coloration. Les requins pullulaient à notre arrivée, quelques jours après notre installation on n'en voyait plus que rarement.

Je choisis, pour l'emplacement du phare, un endroit situé à peu près au milieu de la partie sud du récif où, d'après les sondages, la couche supérieure très dure était la plus épaisse et où le décapage du sol paraissait le plus facile à exécuter.

Le 26 décembre, l'Ingénieur en chef des ports et phares venait avec le navire de l'Administration, il approuvait le choix de l'emplacement et donnait l'autorisation de commencer les travaux.

Dès notre arrivée je me mis en mesure d'effectuer le débarquement du matériel et les installations sur le récif *(fig. 3 et 4, Pl. 147)*.

Pour aller du *Fortuna* à l'emplacement du phare, il fallait franchir le premier banc de coraux dont il a été parlé plus haut et qui ne présente qu'une passe étroite et de 2,50 m seulement de profondeur. Les fonds ne permettaient le passage ni du remorqueur le *Prospector*, ni des grandes barques; après quelques essais infructueux pour approfondir la passe à la dynamite, je me décidai à constituer, avec les bois que j'avais en grande quantité à bord, des radeaux sur lesquels le matériel pouvait être débarqué et transporté au chantier du phare. Les blocs creux étaient également chargés et transportés sur ces radeaux; ce travail était très pénible, la distance à parcourir étant de 1 500 m et les courants gênant considérablement la direction des radeaux.

Je fis commencer immédiatement la réparation du débarca-

dère existant et permettant l'accostage sur la ceinture sud du récif ; ce débarcadère fut complété et prolongé avec des tréteaux en fer et de grosses poutres jusqu'à l'emplacement choisi pour le phare, de façon à permettre l'accès facile de cette partie du récif. Il était en effet difficile de circuler en canot à cet endroit, à cause des affleurements par place des coraux et la manœuvre des petits chalands pontés chargés sur le *Fortuna* et débarqués dès le début était très difficile, en raison des courants et du peu de dirigeabilité de ces appareils qui nous ont cependant rendu des services appréciables.

La petite grue sur wagonnets était installée à l'extrémité du débarcadère pour permettre la manutention des blocs creux à leur arrivée sur radeaux au sud du récif *(fig. 5, Pl. 147)*.

Les premiers blocs débarqués furent utilisés pour la constitution des baraquements destinés au personnel et aux ouvriers ; ils furent immergés de chaque côté du débarcadère existant, remplis de sable et surmontés d'une maçonnerie de moellon et ciment jusqu'à 1,50 m au-dessus du niveau de l'eau. Sur les piles ainsi constituées furent placées de grosses poutres de 12 m solidement ancrées dans la maçonnerie des piles, sur ces poutres un plancher et des baraquements en bois comportant des fermes très bien entretoisées, fixées aux poutres avec des équerres en fer et contreventées dans tous les sens. La prudence la plus élémentaire nous recommandait d'apporter le plus grand soin à ce travail provisoire qui devait pouvoir résister aux coups de vent très violents qui sont fréquents dans ces parages ; l'existence d'une centaine d'hommes aurait pu être irrémédiablement compromise par un manque de solidité dans cette installation d'ailleurs fort primitive *(fig. 6, Pl. 147)*.

Les logements étaient distribués de chaque côté du débarcadère que nous avions élargi de façon à constituer au milieu des logements un passage de 4 m de largeur.

D'un côté : une cuisine, une salle à manger commune, trois petites chambres de 2 m sur 3,50 m, deux grandes pièces pour les ouvriers indigènes ; de l'autre côté : six petites chambres de 2 m sur 3,50 m, un magasin pour l'outillage, une grande pièce pour les ouvriers. Toutes ces pièces donnaient d'un côté sur le passage, de l'autre sur une véranda couverte de 2 m de largeur.

La construction de ces logements fut poussée activement pour éviter le voyage long et dangereux que les ouvriers devaient faire le matin et le soir pour rentrer au *Fortuna*.

Une difficulté qui nous a poursuivis pendant toute la durée du travail était constituée par le manque absolu d'emplacement pour mettre en dépôt les matériaux et le matériel; au début surtout du déchargement du *Fortuna*, nous étions obligés de dégager les cales sans pouvoir suivre de programme arrêté, le matériel arrivant au récif encombrait forcément le peu de place dont nous disposions. Aussi, en commençant la construction des logements, j'établissais également une grande plate-forme de 600 m au moyen de blocs immergés et remplis de sable ; comme pour les logements, sur ces blocs une maçonnerie jusqu'à 1,50 m au-dessus de l'eau, puis des grosses poutres et un platelage en madriers. Cette plate-forme achevée nous permettait la mise en dépôt des blocs creux déchargés du *Fortuna* et d'une partie du matériel (*fig. 7, Pl. 147*).

Nous prolongions aussi l'appontement au moyen de tréteaux en bois au delà de l'emplacement du phare jusqu'à l'extrémité sud du récif où nous établissions à pic sur les grands fonds un accostage pour les barques et le *Fortuna*. Cet accostage était construit avec trois blocs placés à l'extrémité du récif; sur ces blocs, perpendiculairement au rivage, des grosses poutres de 12 m en porte-à-faux, soutenues par un ancrage solide dans le béton des blocs et par des contre-fiches en bois. Sur les poutres un plancher et un platelage. Plus tard, pour permettre à cet endroit l'accostage sans risques du *Fortuna*, nous construisions sur le récif, par nos propres moyens, un ponton flottant de 14 m de longueur (*fig. 12, 13 et 14, Pl. 147*).

Toute la ceinture sud du récif était donc traversée par un appontement avec débarcadère au sud et au nord, une voie ferrée était établie sur l'appontement pour permettre aux wagonnets de circuler sur toute la largeur du récif (*fig. 4, Pl. 146*).

Enfin, nous placions à proximité de l'accostage sud, sur une plate-forme solidement protégée, des réservoirs en tôle galvanisée permettant d'emmagasiner 4 t d'eau douce (*fig. 9, Pl. 147*).

Les logements et tous ces travaux d'installation étaient terminés en quinze jours et le 8 janvier le *Fortuna*, complètement déchargé, quittait le récif pour retourner à Suez.

Ce n'est pas sans une certaine appréhension que je vis s'éloigner notre navire ; je restais avec tout le personnel en pleine mer, absolument isolé, sans pouvoir être secouru en cas d'accident. Mon inquiétude était d'autant plus vive que nous traversions une période de mauvais temps et que le vent du nord,

excessivement violent, empêchait le *Prospector* de sortir de Port-Soudan, nous laissant plusieurs jours sans aucune communication avec la terre.

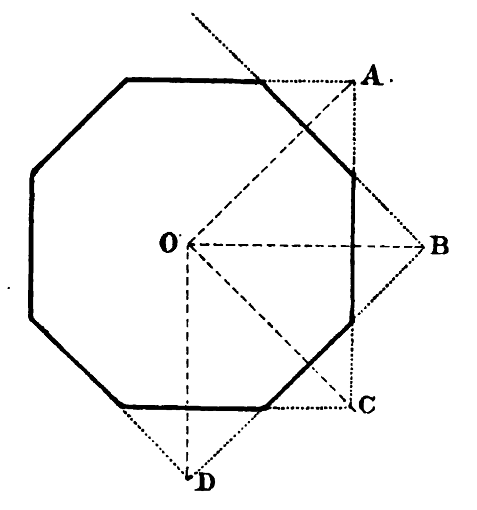
Généralement, dans ces parages, le vent vient du nord et commence à se faire sentir vers 10 heures du matin, il s'apaise dans la soirée. Par ces vents, la lame brisée par le récif se fait peu sentir à l'emplacement du phare et la mer est calme au sud du récif où l'accostage est facile. Lorsque le vent venait du sud, les lames très allongées balayaient toute la partie sur laquelle nous étions installés, déplaçant les blocs remplis de béton et rendant impossible le débarquement au sud.

Notons que la marée est insignifiante, les différences de niveau constatées ne dépassent pas 0,30 m.

La mise en place des blocs était commencée le 6 janvier; ils étaient pris à la grue à la plate-forme de dépôt, chargés sur wagonnets, transportés jusqu'au milieu de l'enceinte du phare, descendus dans l'eau au palan, flottés jusqu'à la ceinture, alignés



et remplis de béton de ciment.



Le tracé de l'octogone pour permettre l'alignement des blocs était effectué de la façon suivante :

Au centre O choisi, il était établi une petite plateforme en bois consolidée par un massif en pierres sèches. Sur cette plateforme au goniomètre les directions à 45 degrés O A, O B, etc., de l'apothème, étaient déterminées, la distance O A, O B, etc. mésurée; on immergeait aux points A, B, C, des trépieds en fer rond surmontés d'un plateau en bois, ces trépieds solidement fixés par des massifs en pierre sèche; les points A. B. C., etc., étaient ensuite exactement déterminés et repérés par une pointe clouée sur le plateau en bois du trépied. En joignant les points A. C., B. D., etc., par des fils de fer, les côtés de l'octogone étaient tracés et les blocs pouvaient être alignés, sans aucune gêne dans les manœuvres de pose et de coulage.

Le fond à l'emplacement de la ceinture était nettoyé et nivelé avant la pose des blocs.

Les blocs de la première ceinture remplis de béton étant déplacés par la lame dès que la mer devenait un peu houleuse, nous procédions à la pose des blocs de la deuxième ceinture et au remplissage de l'intervalle entre les deux séries de blocs le plus rapidement possible.

Le béton entre les blocs était composé de 1 de sable, 1 de gravillon, 1 de ciment; il était soigneusement coulé dans l'eau; ce remplissage effectué, nous profitions des anneaux de l'armature des blocs pour relier les deux ceintures par des entretoises en fer rond de 0,020 fixées à chaud dans les anneaux.

L'enceinte était terminée le 25 janvier, formant un batardeau de 2 m de largeur résistant à l'action de la lame même par très gros temps et permettant d'exécuter le coulage du béton dans l'intérieur de l'enceinte en eau calme *(fig. 8 et 10, Pl. 147)*.

Du mois de février au mois de mai il fut procédé au coulage du béton; le remorqueur et les barques approvisionnaient en caillasse, en ciment, pris à notre magasin de Port-Soudan, en sable, et commençaient les approvisionnements de moellons qui étaient débarqués dans l'eau à l'accostage sud, formant ainsi une plate-forme en pierre à côté de l'appontement. En coulant le béton, des vides de 2,50 m furent ménagés aux huit angles à l'emplacement des ancrages.

Le montage de la charpente métallique était commencé au mois de mai, époque à laquelle je partais de Suez avec le *Fortuna* emportant une partie des pièces de la charpente, deux chefs monteurs venant des ateliers de Chalon, des équipes de riveurs formées avec des ouvriers indigènes, le matériel de montage.

Les pièces de la charpente métallique étaient directement débarquées du *Fortuna*, accostées à l'appontement sud, sur le récif; elles étaient mises en dépôt par catégorie sur des plates-formes en bois, construites autour de la ceinture des blocs

La mise en place de la couronne de base était rapidement exécutée, cette couronne étant composée d'une série de poutres à treillis qu'il suffisait d'assembler avec des boulons; les ancrages étaient également mis en place *(fig. 11, Pl. 147)*.

La couronne parfaitement nivelée, le montage de la tour par tronçon fut commencé; les huit premières fermes inférieures furent assemblées sur la plate-forme et mises au levage; pour les autres fermes le montage fut fait en amenant chaque pièce à sa

place avec une bigue déplacée à chaque fois, cette bigue était fixée sur la partie déjà terminée.

En même temps que s'exécutait le montage, nous commencions la maçonnerie de la plate-forme dans laquelle la couronne se trouve noyée.

Tous ces travaux continuaient normalement jusqu'au mois de juillet et nous pensions les poursuivre sans interruption; nous avions l'expérience des travaux de la mer Rouge, et nous étions décidés, malgré les difficultés résultant du climat, à ne pas suspendre les travaux l'été (*fig. 15 et 16, Pl. 147*).

La température qui, dans les mois d'hiver, était constamment jour et nuit de 25 à 30 degrés dépassait souvent, fin juin, 45 degrès et l'humidité était telle, sur le récif, que l'eau ruisselait partout; les nuits étaient épouvantables, la température diminuait peu et la nuit l'humidité augmentait encore. La nourriture était forcément médiocre, la base de l'alimentation était le poisson que nous pêchions en abondance sur le récif et les conserves de toutes sortes; les poules, les lapins, les pigeons que nous avions apportés mouraient au bout de quelques jours; la seule viande mangeable était fournie par des moutons que nous amenions vivants de Souakim; les œufs étaient introuvables. Enfin, au mois de juillet, un incendie détruisant la seule fabrique de glace établie à Port-Soudan, notre ravitaillement en glace était supprimé. A la mauvaise nourriture et à la dureté du climat qui affaiblissaient les hommes les plus robustes, venait s'ajouter la dépression morale causée par l'isolement complet sur le récif. Indigènes et Européens étaient également atteints moralement et physiquement.

Pour les indigènes nous fûmes obligés de renouveler plusieurs fois les équipes; d'autre part, je m'efforçais d'améliorer leur nourriture et de leur procurer des divertissements.

Quant aux Européens, employés, ouvriers, ainsi que M. Grafton, délégué de l'administration, tout le monde vivait en commun; il n'y avait qu'une salle à manger, nous mangions tous à la même table, la nourriture était la même, nous partagions les mêmes souffrances. Je m'efforçais de relever le moral de tous en vivant avec les ouvriers sur un pied d'égalité complète et je dois dire, à leur louange, que jamais le principe d'autorité absolue, indispensable dans de pareilles conditions, n'en fut diminué.

Nous étions contraints fin juillet, en présence de l'état du per-

sonnel, d'interrompre les travaux en continuant seulement les approvisionnements avec les indigènes de Port-Soudan.

Nous eûmes malheureusement à déplorer, au moment où nous suspendions les travaux, la perte d'un des chefs monteurs de MM. Schneider et Cie, mort, en quelques heures, victime de l'épouvantable climat.

Qu'il me soit permis d'adresser à ce pauvre Chanliau, qui repose dans le petit cimetière de Port-Soudan, un souvenir ému.

Les travaux furent repris en octobre, la température étant, à cette époque, sensiblement diminuée.

Fin octobre, la tour était complètement montée et le chef monteur de la Société des établissements Henry Lepaute commençait la mise en place de l'appareil. Pour monter à la partie supérieure de la tour les pièces, dont quelques-unes pesaient 1200 kg, nous avions établi un plan incliné composé de deux files de solives en bois fixées à l'ossature du phare, suivant la ligne médiane de l'une des faces extérieures de la tour.

Les pièces, hissées au treuil, glissaient sur ces bois ; elles étaient guidées d'en bas au moyen d'un câble.

Le 8 novembre, la lanterne heureusement fixée, un typhon passait sur Sanganeb, renversant le pylône, en montage, du réservoir à pétrole, démolissant l'accostage sud, enlevant une grande partie de l'appontement et détruisant une quantité importante de matériel. Ce typhon, d'une extrême violence, était suivi d'une pluie diluvienne qui dura deux jours, inondant tous les baraquements. Malgré le retard et le trouble apportés par cette tempête, un mois après le commencement du montage de la lanterne, l'avancement du travail était tel que nous pouvions procéder, fin novembre, à l'allumage du phare pour effectuer les premiers essais,

Nous mettions également les logements en construction, les menuiseries, toutes les huisseries et les cloisons en liège étaient commencées, ainsi que le plafond. Nous employions des briques de liège aggloméré provenant de l'usine de Ravannes, ces briques, hourdées au plâtre, constituaient des séparations légères et assurant une protection réelle contre la chaleur.

Je donne ici les dernières photographies que j'ai pu recueillir au récif de Sanganeb, elles montrent l'état du travail au 5 décembre, date à laquelle je quittai le chantier du phare pour la dernière fois *(fig. 17 et 18, Pl. 147)*.

On procédait ensuite à l'achèvement des maçonneries et des logements, à la pose des couvertures en cuivre, à la construction des annexes sur la plate-forme, à la peinture, aux divers parachèvements ; on achevait l'appontement définitif sur lequel étaient installées une voie ferrée et une canalisation d'eau pour refouler l'eau de la pile de tête de l'appontement dans les réservoirs ; les installations provisoires étaient enlevées.

Le 24 janvier 1907, la commission de réception composée de M. Grafton Bey, Ingénieur en chef des Ports et Phares, et de S. E. le capitaine Gedge Pacha, accompagnés du Conseiller financier, venaient, sur le vapeur *Aïda*, procéder aux essais définitifs et à la prise en charge du phare par l'administration.

La commission recevait le travail sans observation et nous transmettait ses félicitations qui nous étaient renouvelées par S. E. l'amiral Blumfield Pacha, directeur général de l'administration des Ports et Phares.

Je dois, en terminant, constater qu'une partie du succès de la construction revient à MM Schneider et Cie dont les ateliers de Chalon nous ont fourni une charpente métallique exécutée avec un tel soin que bien qu'il n'eût pu être procédé, aux chantiers, à un montage préalable, nous n'avons pas eu la plus petite erreur à signaler, toutes les pièces s'assemblaient avec la plus parfaite exactitude, aucune place n'avait été laissée à l'aléa.

Je dois également signaler que l'appareil du phare a été particulièrement admiré par tous ceux qui l'ont examiné et la Société des établissements Henry Lepaute a droit à toutes les félicitations, non seulement à cause de la précision de l'optique et de l'ingéniosité du système, mais encore pour la perfection, le fini du travail qui sont d'ailleurs des qualités qui caractérisent l'industrie française et qui en sont l'honneur.

LES SALAIRES A PRIMES

PAR

M. Paul LECLER

INTRODUCTION

La main-d'œuvre constituant une part, souvent fort importante, de tout prix de revient, et les salaires journaliers ayant tendance à augmenter constamment, alors que les nécessités de la concurrence l'obligent à diminuer constamment ses prix de revient, tout industriel se trouve ainsi dans une situation sans issue, du moins en apparence, son intérêt et celui de ses ouvriers semblant absolument contradictoires. En réalité, la situation est différente, puisque ce qui lui importe est de payer le moins possible de main-d'œuvre pour un *produit donné*, tandis que ce qui importe à l'ouvrier est un maximum de salaire pour un *temps donné*. Une solution peut donc intervenir, et c'est la seule, qui consiste à diminuer l'importance du prix de la main-d'œuvre pour un travail donné, en augmentant la production de l'ouvrier par unité de temps.

Ce résultat peut être obtenu en partie par divers moyens indépendants du fait de l'ouvrier, et que nous n'étudierons pas ici. Mais, pour ainsi dire dans tous les cas, les économies de main-d'œuvre dépendent pour une part variable, parfois fort importante, du fait de l'ouvrier lui-même qui, en apportant plus de soin, d'énergie, d'attention à son travail que dans les conditions ordinaires, peut arriver à en réduire considérablement la durée, comparativement à ce qu'elle serait avec un ouvrier moyen, travaillant avec un entrain moyen, dans des conditions moyennes.

Mais, pour que l'ouvrier cherche ainsi à réaliser le maximum

de production dont il est capable en un temps donné, c'est-à-dire développe son maximum d'effort, il faut évidemment qu'il y trouve tout au moins l'espoir d'une augmentation de salaire proportionnée; par exemple, sous forme de partage du bénéfice produit, c'est-à-dire de l'économie réalisée. Dans ces conditions, tout le monde y trouvera son compte, l'ouvrier dont le salaire horaire sera augmenté, le patron pour lequel le prix de main-d'œuvre afférent à un travail donné sera réduit, et le consommateur, au bénéfice duquel se font en définitive toutes les réductions de prix de revient.

Ces idées — qui ne sont pas nouvelles — ont donné naissance aux diverses formes de la participation aux bénéfices. Mais celle-ci, pour diverses raisons, de même que le salaire à la tâche, est d'une application limitée.

Pourtant la nécessité qu'il y a, pour obtenir une réduction sur le prix de revient, d'y intéresser les ouvriers est telle que certains industriels ont voulu trouver d'autres moyens pour parvenir à ce résultat.

C'est cette préoccupation — qui devait naturellement se développer d'abord dans les pays où les salaires sont les plus élevés — qui a conduit à l'application, en Angleterre et aux États-Unis, depuis un certain nombre d'années déjà, de ce qu'on a appelé les *salaires à primes* (premium system, bonus system) qui ont donné des résultats généralement satisfaisants.

Il ne s'agit donc pas ici de conceptions plus ou moins théoriques, mais bien de dispositifs constituant en résumé des formes restreintes de la participation aux bénéfices, ayant reçu déjà la sanction de la pratique, et qui, sans qu'il faille en exagérer la valeur, peuvent, dans des cas convenables, être employés avec grand avantage.

Ces systèmes étant encore peu connus en France, il nous a semblé qu'une étude d'ensemble sur ce sujet ne serait pas inutile.

Dans ce travail, nous avons cherché à faire ressortir, autant que possible, les idées générales qu'on peut déduire de l'examen des divers systèmes employés, et des résultats qu'ils ont donnés.

I

COMPARAISON ENTRE LES SALAIRES A PRIMES ET LES AUTRES MODES DE RÉMUNÉRATION DU TRAVAIL

PRINCIPE DES SALAIRES A PRIMES.

L'idée fondamentale des systèmes de salaires à primes pourrait s'exprimer ainsi : « Faire participer l'ouvrier aux économies de prix de revient, c'est-à-dire aux bénéfices qu'il contribue à produire — sans plus ».

Les économies qui dépendent de l'ouvrier sont de deux sortes : celles qui portent sur le temps passé, et celles réalisées sur les matières employées.

Dans nombre de cas, en mettant la question de malfaçon à part, l'ouvrier a peu ou pas d'influence sur l'économie de matière première, par exemple, dans la plupart des fabrications mécaniques, où les salaires à primes ont été surtout appliqués. Le seul élément sur lequel l'ouvrier ait de l'influence et sur lequel par conséquent devra porter la prime est alors le temps passé.

D'autre part, le décompte de l'économie de matière, dans les cas où elle dépend de l'ouvrier, pouvant n'être pas toujours très facile, on conçoit, pour ces deux raisons, que les salaires à primes ne tiennent le plus souvent compte que des économies de temps. Une économie n'a qu'une valeur relative; qui dit économie, dit donc terme ou base de comparaison, de telle sorte que, réduite à l'économie de temps, l'idée des salaires à primes se comprend le plus généralement comme suit :

« Faire participer l'ouvrier aux économies réalisées par lui sur le temps prévu pour l'exécution d'un travail déterminé. » C'est à ceci que se résument la plupart des systèmes à primes qui s'appliquent d'ailleurs, en général, à des opérations distinctes, exécutées par des ouvriers travaillant isolément, indépendamment les uns des autres; mais ce principe de la participation limitée peut également s'appliquer à des ouvriers travaillant *collectivement* à des ensembles d'opérations, et participant aussi bien aux économies de matières qu'à celles de main-d'œuvre.

On comprend donc que le nombre des systèmes à primes appliqués ou proposés soit considérable : avant d'indiquer les

caractéristiques des plus employés, il ne sera peut-être pas inutile de rappeler, pour expliquer leur développement, les inconvénients de la participation aux bénéfices et des autres systèmes de salaires auxquels on a tenté de remédier par leur application.

Participation aux bénéfices.

La participation aux bénéfices, telle qu'elle est fréquemment appliquée, découle d'une idée très juste : le succès d'une entreprise industrielle dépendant sinon en totalité, du moins pour partie, du dévouement de tout le personnel qu'elle occupe, il n'est que juste, et en même temps il est utile, pour le patron, de tenir compte à ses employés de ce dévouement en leur donnant une certaine part des bénéfices.

Parfois même, sous l'influence de considérations philanthropiques d'ordre très élevé, le patron ne considère pas qu'il a suffisamment fait quand il a réparti, entre ses employés, les bénéfices qui leur reviennent; il s'inquiète de la manière dont ils en disposent, il met à leur disposition des caisses d'épargne, ou leur facilite l'acquisition d'immeubles, de maisons d'habitation, crée des caisses de retraite, etc. En un mot, dans ces conditions, loin de considérer son rôle comme terminé quand il a payé à l'ouvrier son salaire et la part de bénéfices convenue, le patron se regarde encore comme moralement responsable de cet ouvrier, souvent imprévoyant et insoucieux de l'avenir, et cherche à l'élever, lui et sa famille, sur l'échelle sociale, en lui donnant les goûts d'ordre et d'économie sans lesquels n'est possible aucune amélioration durable de situation industrielle ou familiale. On comprend que, ainsi conçue, la participation aux bénéfices n'ait eu jusqu'ici qu'une extension restreinte.

Mais, même réduite à la distribution pure et simple d'une part des bénéfices, sans intervention du patron dans l'emploi des bénéfices distribués, elle ne paraît avoir reçu que relativement peu d'applications, ce qui tiendrait à ce qu'elle présente un certain nombre d'inconvénients (1).

(1) Peut-être n'est-il pas inutile de préciser ici la position de la question pour éviter tout malentendu : quand nous parlons de la participation aux bénéfices, nous visons la distribution à tout le personnel, suivant telles règles fixes qu'on voudra, d'une partie des bénéfices globaux réalisés par l'entreprise (c'est en somme ce qu'on pourrait appeler la *participation intégrale)*, sans qu'il soit possible de proportionner la part de tel ou tel participant aux résultats qu'il a personnellement obtenus. Nous n'avons nullement en vue l'attribution à certains employés seulement, à certains intéressés, en un mot, d'une part dans les bénéfices qu'ils ont réellement contribué à produire, c'est-à-dire la *participation limitée*.

Tout d'abord, et c'est un point qu'on néglige souvent, *la première condition pour répartir des bénéfices est qu'il y en ait.* Or, le bénéfice n'est pas la loi générale de l'industrie : certaines entreprises, après des périodes de prospérité, restent parfois dix ans sans donner de dividendes.

D'autre part, *le bénéfice ne dépend pas seulement du fait des ouvriers :* tout le personnel ouvrier d'une entreprise peut avoir déployé son maximum d'efforts, et l'exercice se soldera cependant par une perte, alors qu'une industrie voisine, dont le personnel n'a pas accompli d'efforts supérieurs à la moyenne, donnera de beaux bénéfices.

Quand il y aura des bénéfices, les ouvriers trouveront la répartition toute naturelle; lorsqu'elle manquera il est probable que, ne recevant aucune rémunération de leur supplément de travail, ils éprouveront un certain mécontentement, et se laisseront aller à supposer qu'ils ont été frustrés, par la direction, de la part qui leur revenait (on peut remédier à cet inconvénient par des caisses de réserve, mais ce n'est là qu'un palliatif). C'est donc la *question des comptes* qui est ainsi soulevée.

Si, pour éviter cet inconvénient, la direction de l'entreprise s'arrange pour distribuer, en tout cas, une certaine somme en fin d'exercice aux ouvriers, la participation prend le *caractère de gratification* et perd son pouvoir stimulant.

De plus, la participation *est collective.* L'ouvrier peu travailleur compte sur ses voisins pour réaliser des bénéfices; ceux-ci, d'autre part, n'éprouvent qu'un médiocre enthousiasme à se dire que d'abord leur effort personnel, étant noyé dans l'ensemble, n'a qu'une importance faible dans le résultat général, puisque, en travaillant pour eux, ils travaillent également pour le voisin qui ne se fatigue pas, et qui, finalement, recevra autant qu'eux.

Enfin, la répartition des bénéfices ne peut être que *différée.* Or, les ouvriers, assez souvent, ne sont pas doués d'une grande patience : ils donnent bien un coup de collier, mais à condition d'en tirer un avantage palpable, qu'ils puissent évaluer de suite; s'il leur faut, comme avec la participation, attendre la fin de l'exercice, sans pouvoir apprécier exactement, chaque fois qu'ils feront un travail, quel avantage ils auront à le faire de leur mieux, il est à craindre que leur enthousiasme ne soit que très modéré. Bien entendu, quand il s'agit d'entreprises anciennes, disposant d'un personnel stable, habitué à la participation, en ayant apprécié les avantages depuis de longues années, person-

nel d'élite en un mot, animé de l'esprit de corps, ces objections perdent de leur valeur, mais ce ne sont guère que des cas trop rares pour constituer une majorité.

Les salaires au temps et a la tache.

Sous quelle forme donc intéresser l'ouvrier aux résultats qu'il produit, en évitant les inconvénients de la participation?

Ni les salaires au temps ni celui à la tâche ne donnent à ce sujet entière satisfaction. Il est, bien entendu, nombre de cas où le salaire au temps est encore et restera le seul applicable.

Mais, au point de vue qui nous occupe, il ne saurait donner de bons résultats, rien n'incitant l'ouvrier à obtenir le maximum de production dont il est susceptible, au lieu de la moyenne qu'on est en droit d'exiger d'un ouvrier moyen.

Le *travail à la tâche* serait ici bien préférable, et c'est dans ce but qu'il a été, et est encore si fréquemment employé. Toutefois, il n'est pas sans inconvénients : d'abord, *tout l'aléa* est au compte de l'ouvrier : s'il y a erreur dans la détermination du temps qui a servi de base à la fixation du prix de façon, il en profite ou il en souffre seul. Si le temps prévu est trop long, il ne réclamera pas; il n'en sera pas de même s'il est trop court. D'autre part, si l'ouvrier arrive à se faire un salaire de beaucoup supérieur à la moyenne, son patron, parfois malgré lui, sous la pression de la concurrence, sera tenté de réduire le temps alloué pour le travail, de manière que le salaire journalier ne dépasse pas une certaine limite. Le résultat final de cette manière de faire est absolument opposé à celui cherché : l'ouvrier, voyant que ses efforts finissent par se retourner contre lui (sans compter les reproches qu'il peut recevoir de ses camarades), en vient à limiter sa production de manière que son salaire journalier n'atteigne pas la limite au-dessus de laquelle il craindrait qu'on ne le réduise.

Les salaires a primes.

Ces considérations, comme nous l'avons dit, ont conduit à la conception des divers systèmes de salaires à primes qui sont caractérisés par deux éléments essentiels :

1° Dans tous les cas, l'ouvrier est assuré de toucher, pour tout le temps passé, un salaire horaire minimum (ce qui n'est pas le cas, en général, du salaire à la tâche);

2° On prévoit pour l'exécution de tout travail un certain temps (ou un certain prix de main-d'œuvre). Si le temps employé est moindre (ou si le prix de la main-d'œuvre calculé d'après le salaire horaire minimum est moindre), on alloue à l'ouvrier, à titre de prime, une certaine part de l'économie réalisée.

Ainsi donc pour l'ouvrier, aucun risque de perte : seulement risque de ne pas gagner la prime. D'autre part, pour le patron, avantage de participer aux économies de temps réalisées par l'ouvrier, tandis qu'avec le salaire à la tâche il n'en reçoit aucune part; par conséquent, pour lui, tentation et nécessité bien moindres qu'avec le salaire à la tâche, de réduire les temps alloués, et même possibilité de les laisser fixes (ou de ne les changer que si les modes de fabrication changent). Cette question de la *fixité* des temps de base est *capitale*, et c'est à elle, sans aucun doute, qu'il faut attribuer pour une grande part les succès des salaires à primes, qui provient d'ailleurs également des autres caractères qu'ils présentent, et dont voici les principaux :

D'abord, contrairement au cas de la participation aux bénéfices, toute idée de gratification plus ou moins volontaire disparaît de la part du patron, qui, se plaçant à un point de vue beaucoup plus terre à terre, dit en somme à l'ouvrier : Il dépend de vous de faire des économies : si vous en faites, nous les partagerons; comme vous toucherez toujours votre salaire minimum, même si vous employez plus que le temps prévu, vous ne risquez rien que de gagner un supplément de salaire ».

En résumé, il s'agit donc d'une participation aux bénéfices limitée, qui présente les avantages suivants : la prime gagnée par l'ouvrier est facilement calculable par lui : il peut donc vérifier son compte et n'est plus tenté de se croire trompé.

La prime ne dépend que *de l'ouvrier*, elle lui est acquise immédiatement, après la fin du travail, et peut lui être payée à bref délai, sans qu'il ait à s'inquiéter de savoir si l'opération à laquelle il a collaboré donnera finalement un bénéfice ou une perte.

On voit donc que les salaires à primes tiennent de la participation aux bénéfices, mais ils se rapprochent du salaire à la tâche par ce fait qu'ils comportent une détermination préalable de la durée du travail. Par suite, leur emploi est limité. Toutefois, l'influence d'une erreur dans cette détermination étant moindre qu'avec le salaires à la tâche, puisque le patron participe dans les économies réalisées, leur champ d'action est par cela même plus étendu.

Remarquons, en passant, que le salaire à prime constitue un élément d'éducation sociale de l'ouvrier, et on peut le considérer, à ce point de vue, comme un intermédiaire entre le salariat pur et simple, et la participation aux bénéfices, puis la coopération.

On peut objecter aux salaires à primes que l'ouvrier étant incité à obtenir le maximum de production aura tendance par cela même à sacrifier la qualité de son travail, à soumettre l'outillage à des efforts excessifs (1). Cette objection ne porte pas plus que dans le cas du salaire à la tâche, dont elle n'empêche pas l'emploi. Il est seulement nécessaire avec les salaires à primes d'avoir un service d'inspection et de vérification bien organisé; mais ce service est également indispensable, quel que soit le système de salaire, pour obtenir une bonne fabrication — surtout en construction mécanique.

Un avantage du système à prime est que, en augmentant la production d'un atelier donné les frais généraux fixes se répartissant sur une plus grande production diminuent aroportionnellement. Peut-être objectera-t-on que de la sorte, on va au-devant de la *surproduction :* sans insister sur ce point, nous dirons qu'à ce compte-là il faudrait se garder d'introduire aucune amélioration dans l'industrie; aussi, au risque de paraître paradoxal, il semble qu'on doive considérer ce qu'on appelle surproduction comme un bien, au point de vue général tout au moins, puisqu'elle détermine l'élimination automatique des entreprises les moins bien organisées.

(1) Les objections qu'on peut faire sont, quoique à un moindre degré peut-être, celles déjà formulées à maintes reprises contre le salaire à la tâche, et se ramènent aux suivantes :

1° Les ouvriers travaillant aux pièces dégraderaient l'outillage en cherchant à en obtenir le maximum de rendement;

2° Les malfaçons seraient augmentées;

3° Par suite du surmenage auquel ils se laisseraient entraîner, les ouvriers se fatigueraient vite et perdraient leurs aptitudes professionnelles;

4° Le travail à la tâche entraînerait un avilissement des salaires, et de plus, leur inégalité, certains travaux étant plus avantageux que d'autres;

5° L'augmentation de production qui résulte du travail à la tâche conduirait à des chômages.

Toutes ces objections ont été discutées à maintes reprises en particulier à un point de vue pratique, dans un Rapport de la Commission d'enquête sur les revendications du personnel civil des établissements militaires, traitant uniquement de cette question (*Journal officiel*, 5 avril 1903, pp. 2189 à 2195) du travail à la tâche (au devis) et de son remplacement, demandé par les ouvriers, par le travail au temps. Nous avons indiqué ailleurs (*Portefeuille Économique des Machines*, nov. 1903) que la solution de cette difficulté paraissait consister dans les systèmes à primes.

II

LES DIFFÉRENTS SYSTÈMES DE SALAIRES A PRIMES

Le principe général des salaires à primes « donner aux ouvriers une part des économies qu'ils réalisent sur la production et seulement de ces économies » peut être appliqué d'une infinité de manières, suivant qu'il s'agira d'ouvriers travaillant isolément, ou réunis en équipe et dont chacun participera aux économies réalisées collectivement, que les primes portent à la fois sur les économies de matière et de main-d'œuvre, ou, au contraire, sur ces dernières seulement.

Bien que dans ces conditions il soit difficile d'établir une classification précise des divers systèmes, on peut cependant les répartir en deux classes :

1° Prime portant sur les économies de main-d'œuvre seulement ;

2° Prime portant à la fois sur les économies de main-d'œuvre et sur les autres économies réalisées dans le prix de revient.

Chacune de ces classes se subdivisant en deux catégories :

A. Systèmes individuels;

B. Systèmes collectifs.

Les systèmes à primes ayant reçu le plus grand nombre d'applications et dont nous nous occuperons surtout ici sont ceux où la prime porte seulement sur l'économie de temps et est attribué à des ouvriers travaillant isolément. C'est à eux d'ailleurs qu'on applique plus spécialement le nom de systèmes à primes (premium systems) qui semble devoir leur rester, ou encore de systèmes à boni (bonus systems).

On a aussi proposé le nom de « participation au gain » (gain sharing) pour désigner l'ensemble de tous les systèmes qui constituent une sorte de participation limitée, par opposition à la *participation aux bénéfices* proprement dite (profit sharing).

Nous ne décrirons ici que des systèmes ayant reçu des applications pratiques.

1° Systèmes où la prime est basée seulement sur l'économie de temps.

A. — Systèmes individuels.

Ici, le salaire horaire minimum ou *salaire horaire de base* est toujours garanti et on prévoit, pour l'exécution du travail, un certain *temps de base*; si le temps effectivement employé est moindre, on alloue à l'ouvrier, à titre de prime, une partie du salaire correspondant au temps économisé. Les divers systèmes ne diffèrent entre eux que par le mode de détermination de la prime, qui pourra — et c'est le cas le plus simple, être d'une fraction fixe du temps économisé : on aura alors des systèmes à *taux fixes*, — ou varier suivant une loi plus complexe; on aura ainsi des systèmes à *taux variables*, la prime, dans les deux cas, variant d'une manière continue.

On peut encore faire varier brusquement la prime quand les temps employés ne dépassent pas certaines limites; c'est le cas des systèmes à *primes discontinues* ou *systèmes différentiels*.

Il est encore des systèmes où la prime est basée sur le prix payé pour la main-d'œuvre (et non plus sur le temps), qui rentrent d'ailleurs dans la catégorie précédente quand ils sont appliqués à des ouvriers recevant tous le même salaire horaire de base (1).

α) *Systèmes à taux fixe.*

a) Système Halsey. — Le premier appliqué de ces systèmes paraît bien être celui que M. F. A. Halsey a employé d'abord sur une échelle relativement faible, dès 1890, dans les ateliers de la Canadian Rand Drill C°, à Sherbrooke, Canada (P. Q.), dont il était alors directeur (principalement pièces à répétition) (2).

(1) Remarquons que tous les systèmes à prime sont compris entre deux extrêmes : le salaire au temps — à prime nulle — et le salaire à la tâche, où toute l'économie est pour l'ouvrier, et qu'on pourrait, par conséquent, appeler *système à prime totale*, par opposition aux systèmes à prime proprement dits qui pourraient alors être dits à *prime partielle*.

(2) Ce système a été décrit pour la première fois par M. Halsey, dans une communication faite en 1891 à l'*American Society of Mechanical Engineers, Transactions*, vol. XII, p. 755, 1891, et depuis dans nombre de publications. M. Halsey est peut-être celui qui a le plus fait pour faire connaître les salaires à primes, qu'il a été, croyons-nous, le premier à désigner sous le nom de « premium systems ».

Ici, l'ouvrier reçoit, en plus de son salaire horaire minimum toujours acquis, une prime égale au tiers de la valeur du temps économisé. Le taux de la prime est donc ici un tiers. Si la durée d'un travail est prévue de dix heures, et s'il est exécuté en six, l'économie est de quatre heures, et la prime, étant le tiers de l'économie, représente un supplément de salaire correspondant à $\frac{4}{3} = 1{,}33$ fois le salaire horaire, qui est ainsi majoré, pour le temps passé, de $\frac{1{,}33}{6}$, ou 22,22 0/0.

Avec ce système très simple, le calcul de la prime est facile, à la portée de l'ouvrier; aussi a-t-il reçu une certaine extension, en particulier aux États-Unis où il a pris naissance.

On peut trouver que la part attribuée à l'ouvrier est faible (1), bien que M. Halsey ait obtenu de bons résultats avec des primes encore plus faibles que celle du tiers. Il est facile d'y remédier, et faire le partage par parties égales en adoptant comme taux de prime la moitié au lieu du tiers. C'est ce qu'on peut appeler, pour lui donner un nom :

b) Le système de M. W. Weir (de Glasgow) qui semble avoir été un des premiers à appliquer ce taux de prime (2) de moitié, lequel paraît être maintenant le plus généralement adopté.

L'inconvénient des systèmes à prime à taux fixe (Halsey et similaires) est le même que celui du salaire à la tâche, quoique à un degré moindre. Si l'économie de temps est considérable, le salaire horaire devient très élevé. Ainsi, par exemple, avec un taux de prime de moitié, si l'ouvrier économise six heures sur dix (en admettant un salaire horaire de base de 1 f) il recevra d'abord son salaire horaire minimum pour quatre heures, soit 4 f, plus la moitié du salaire du temps économisé, soit $\frac{6}{2} = 3$ f, au total $4 + 3 = 7$ f pour quatre heures, ou 1,75 f par heure. S'il économisait huit heures il toucherait une prime de 4 f et son salaire horaire ressortirait à 3 f.

(1) M. Halsey estime préférable de calculer très largement le temps de base (même en excès sur ceux obtenus avec le salaire au temps ordinaire) de manière que l'ouvrier ait la presque certitude de toujours gagner sa prime. Ceci explique pourquoi le taux de prime doit être faible (un tiers ou même un quart) pour éviter de payer des salaires totaux trop élevés.

(2) MM. G. et J. Weir Ltd Cathcart Glasgow. Machines marines auxiliaires, pompes, etc.

Ces chiffres, quoique élevés, sont d'ailleurs inférieurs à ceux que donnerait le salaire à la tâche pur et simple, soit 2,50 f et 5 f par heure, dans les deux cas considérés.

De pareils cas sont rares et l'on peut se demander si, en admettant qu'ils se présentent parfois, il est bien utile de renoncer pour cela à la simplicité du système à taux fixe. Certains industriels l'ont pensé et ont cherché des systèmes qui, dans tous les cas, limitent le salaire horaire de l'ouvrier à un maximum impossible à dépasser. C'est de cette conception que sont sortis les :

β) *Systèmes à taux variable,*

dont le plus employé, peut-être même le seul, est le :

Système de M. J. Rowan (1) (2). — Pour que l'ouvrier ne puisse, en aucun cas, faire plus que doubler son salaire horaire de base, M. Rowan a adopté le principe suivant : dans les cas d'économie sur le temps de base prévu, le salaire horaire de base, pour le temps passé, est majoré d'un pourcentage égal au pourcentage que représente le temps économisé par rapport au temps de base prévu. Si, par exemple, l'ouvrier économise la moitié ou 50 0/0 du temps de base, son salaire horaire, pour le temps employé, est majoré de 50 0/0, soit 0,50 f si le salaire horaire de base est de 1 f, et il reçoit ainsi par heure 1,50 f au lieu de 1 f. On voit que, à la limite, même s'il exécutait instantanément son travail, économisant ainsi 100 0/0 du temps de base, l'ouvrier ne recevrait qu'une majoration de salaire horaire de 100 0/0, c'est-à-dire qu'il le doublerait simplement.

Ce système, qui paraît un peu complexe en principe, a cependant donné, non seulement à son inventeur, mais à d'autres industriels qui l'ont appliqué, des résultats satisfaisants que nous verrons plus loin (3).

On pourrait le qualifier de *système parabolique*, parce que le salaire total payé pour un travail donné, quand le temps em-

(1) De la maison David Rowan et Cie, de Glasgow. Machines et chaudières marines.

(2) International Engineering Congress. Septembre 1901. Glasgow. *Proceedings of the Inst. of Mech. Engineers*, 1901, 4e partie, p. 865; — mars 1903, p. 203 à 261. *A premium system applied to Engineering Works* by M. J. Rowan. Ces deux communications de M. Rowan ont donné lieu, devant l'Inst. of Mechanical Engineers, à des discussions importantes.

(3) Le système Rowan a également été introduit, dès 1904, dans certains ateliers de l'Amirauté anglaise (*Engineering*, 4 mars 1904).

ployé décroît depuis le temps de base jusqu'à zéro, est représenté par les ordonnées d'une parabole.

γ) *Systèmes différentiels.*

Avec les systèmes précédents, la prime varie d'une manière continue. Quand le temps employé reste aux environs du temps de base, un peu supérieur ou un peu inférieur, le salaire horaire diffère peu du salaire de base (qui est garanti en tous cas). On a trouvé que le stimulant ainsi donné à l'ouvrier dans ces limites était trop faible et on s'est dit qu'il était préférable de l'augmenter en lui donnant l'appât d'une prime massive, pour ainsi dire, s'il ne dépassait pas le temps alloué. C'est là le principe des *systèmes différentiels*, qui peut être appliqué de deux manières bien différentes, soit avec le temps de *base moyen*, soit avec le temps de *base minimum*.

Tout système à prime implique, en effet, la *détermination des temps de base*. Dans les systèmes précédents, le temps de base est le temps nécessaire à un ouvrier *moyen*, placé dans des conditions moyennes, et travaillant au temps, pour exécuter son travail avec un effort moyen. On peut donc le qualifier de *temps de base moyen simple* ou *normal*.

Parfois même, et c'est ce que recommande M. G. Halsey, et ce que nous verrons aussi plus loin (MM. Willians et Robinson), on majore ce temps d'une certaine quantité, de manière à donner à l'ouvrier la quasi-certitude de toujours gagner une prime, ce qui constitue un puissant encouragement. On a alors ce qu'on peut appeler des systèmes à *temps de base moyen allongé*, par opposition aux précédents, *à temps de base moyen simple* ou *normal*. Si maintenant, au lieu d'une prime continue, on veut donner une prime massive, en se basant sur le temps de base *moyen normal*, on obtient :

a) *Le système différentiel simple*. — La prime massive fixe est gagnée ici si le temps de base moyen normal n'est pas dépassé. En somme, c'est le cas du salaire Halsey à temps *de base moyen allongé*, avec cette seule différence qu'au lieu de toucher une petite prime variant graduellement de zéro à une certaine valeur — qui peut être celle de la prime massive — quand le temps employé est compris entre le temps de base allongé et le temps moyen normal, l'ouvrier ne touche rien dans cet intervalle.

Mais tel quel, ce système est insuffisant : il incite bien l'ouvrier à ne pas employer plus d'un certain temps, mais rien ne l'encourage, du moins en apparence, à descendre encore en dessous de cette limite. Pour éviter cet inconvénient, on a été conduit à employer le :

b) Système différentiel mixte, dans lequel, après avoir donné à l'ouvrier une prime massive, quand il n'a pas employé un temps supérieur à la limite prévue, on lui alloue, pour le temps qu'il économisera par rapport à cette limite, une seconde prime calculée suivant l'un des systèmes qui précèdent (1). Le stimulant est donc ici double, d'abord une somme ronde, puis en outre, une prime proportionnelle.

Toutefois, ce dernier système, un peu compliqué, ne semble pas jusqu'ici avoir reçu de nombreuses applications. Si efficace qu'on suppose l'action des primes, la puissance de production de l'ouvrier a en effet une limite et, à superposer ainsi les primes aux primes, on arriverait vite à augmenter le salaire total correspondant à une production donnée, ce qui irait exactement à l'encontre du but cherché.

3) *Système différentiel à temps de base minimum (système Gantt).*

Tout système à prime comporte, on vient de le voir, comme mesure préliminaire et indispensable, la détermination aussi précise que possible de la durée des diverses opérations de la fabrication, ce qui conduit tout naturellement à les étudier à fond, et à rechercher les manières les plus économiques de les effectuer. On arrive de la sorte à rechercher non plus le temps *de base moyen* (normal ou allongé), nécessaire à un ouvrier moyen, et qui peut être réduit plus ou moins par un bon ouvrier, mais bien le *temps minimum*, nécessaire à un très bon ouvrier travaillant dans les meilleures conditions possibles. Dès lors, tout ce que peut espérer un ouvrier ordinaire, c'est non pas de réduire le temps de base, qui est un minimum, mais de ne pas le dépasser. Par conséquent, pour qu'il ait un stimulant suffisant, il faut lui donner une prime suffisamment forte dès qu'il ne dépasse pas le temps de base.

(1) Par exemple (Hugo Diemer, *Engineering Magazine*, août 1905, p. 719), on appliquera une prime massive de 20 0/0 du salaire horaire, plus une prime de 50 0/0 sur toute économie de temps supplémentaire

Ce système (appliqué d'abord par M. H. L. Gantt à South-Bethlehem Pa) (1), qui est en apparence un système différentiel simple, diffère donc en réalité essentiellement de ce dernier, attendu qu'il serait superflu ici de promettre une prime supplémentaire pour le temps économisé sur un temps de base qui est déjà un minimum irréductible (2).

ε) Systèmes basés sur l'économie de main-d'œuvre.

Avec les systèmes qui précèdent on suppose implicitement que tous les ouvriers susceptibles d'exécuter un même travail reçoivent le même salaire horaire de base. Si ces salaires horaires de base sont différents, pour un même travail, accompli dans le même temps, le salaire total sera aussi différent.

Pour éviter cet inconvénient, il suffit de fixer non plus des *temps de base*, mais des *prix de base*, et de partager d'une manière quelconque les économies réalisées.

a) Système à taux fixe de MM. Willians et Robinson. — Le plus simple est de partager ces économies par moitié : c'est ce que font depuis 1891 déjà *MM. Willians et Robinson* (constructeurs de machines à vapeur à Rugby, Angleterre). Ici « un prix de base, appelé *reference rate*, est fixé pour chaque opération ou série d'opérations. Le salaire payé à l'ouvrier d'après le temps passé est comparé à ce prix de *référence*, et la moitié de la différence est payée en plus du salaire du temps passé, calculé d'après le salaire horaire de base. » (Ces prix de référence sont en général fixés largement.)

Ainsi, l'ouvrier, dont le salaire horaire est le plus élevé — qu'on suppose donc le plus capable — dispose, en fait, pour gagner une prime, d'un temps moindre que celui dont le salaire horaire plus faible fait présumer qu'il est moins habile. Lorsqu'il s'agit d'ouvriers ayant tous le même salaire de base, ce système revient exactement au système à prime à taux fixe basé sur le temps économisé.

Dans cet ordre d'idées, on a imaginé bien d'autres systèmes :

(1) Lequel en a fait l'objet d'une communication à l'American Society of Mechanical Engineers, en 1902.

(2) Ou du moins dont la réduction n'est possible que par une amélioration des procédés de fabrication.

Ainsi, la Snow Steam Pump Works de Buffalo (N.-Y.) (1) emploie ce qu'on pourrait appeler :

b) *Le système à primes échelonnées.* Ici pour chaque heure économisée sur le temps de base, la prime représente approximativement un certain pourcentage du salaire horaire de l'ouvrier et décroît à mesure que celui-ci augmente (par exemple d'environ 50 0/0, pour un salaire horaire donné, à 35 0/0 pour un salaire double). En pratique, avec ce système (qui est d'ailleurs celui employé primitivement par M. Halsey (2), les ouvriers sont répartis en catégories suivant le salaire *horaire de base*, et à chaque catégorie est attribuée une prime différente pour toute heure économisée.

Toujours pour obtenir des salaires totaux à peu près semblables avec des salaires horaires différents, on pourrait imaginer diverses combinaisons, employer des *systèmes à taux de prime variables suivant le salaire horaire, le salaire total de base restant le même*, en appliquant le système Halsey, par exemple, avec des taux de prime différents suivant les salaires horaires, le taux le plus élevé correspondant au salaire horaire le plus bas, etc. (3).

Ces dispositifs seraient généralement trop compliqués, et, de plus, sans grand intérêt pratique. En effet, quel que soit le système, c'est le plus souvent, ainsi qu'on le verra d'ailleurs plus loin, avec le salaire horaire le plus élevé que le salaire total est le plus haut. Donc, si un travail peut être exécuté par un ouvrier recevant un certain salaire horaire, le patron aura tout intérêt à ne le donner à un ouvrier dont le salaire horaire est beaucoup plus élevé que s'il lui est impossible de faire autrement. Ce cas sera donc exceptionnel.

B. Systèmes collectifs.

Les systèmes qui précèdent sont applicables au travail collectif avec, au besoin, quelques modifications facilement imaginables, et qu'il serait superflu de détailler ici.

(1) Paul Möller. *Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure*, 8 août 1903, p. 1133. *Eine Studienreise in den Vereinigten Staaten von Amerika.*
(2) D. F. Schloss, *Report on Gain Sharing*, 1895, p. 35.
(3) Voir également à ce sujet une étude plutôt théorique de M. Bernh. Schiller, de Vienne, *Das Prämiensystem der Lohnberechnung* (*Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*, 22 août 1903, p. 1207 à 1215) portant principalement sur les cas où les salaires horaires de base sont différents.

Ainsi, MM. Willians et Robinson ont appliqué leur système au travail par équipe (1), (pour la fonderie, par exemple, le « reference rate » était fixé à tant pour cent de la valeur des moulages mis en magasin) avec une répartition au prorata des salaires de base.

Ces systèmes collectifs ayant reçu relativement peu d'application, nous n'en parlerons pas devantage.

2° Systèmes basés à la fois sur l'économie de temps et celle de matières.

A. Systèmes individuels;

B. Systèmes collectifs.

Si, en plus des économies sur le temps, l'ouvrier a la possibilité d'en réaliser de notables sur la matière, il y a, ainsi qu'on l'a vu, avantage sérieux à l'intéresser aux unes et aux autres, soit séparément (2), soit en établissant un prix de base global, comprenant temps et matières, et en calculant la prime de telle ou telle manière qu'on voudra, facile à imaginer et dérivant d'un quelconque des systèmes étudiés précédemment.

Nous n'insisterons pas non plus sur ce sujet, d'autant plus qu'il sort un peu de notre cadre, les systèmes comportant une prime sur le temps et les matières constituant une sorte d'intermédiaire entre le salaire à prime simple basée uniquement sur le temps, et la participation aux bénéfices.

Indiquons seulement que dès 1887, la Yale and Towne Manufacturing Company Stamford Connecticut (portes d'écluses, appareils de levage etc. (3), employait un système à prime *collectif* comportant le partage par moitié des économies réalisées sur le prix de revient de l'unité de production, en ne tenant compte

(1) Citons encore le système de bonne camaraderie « Good fellowship system », des « Thames Ironworks and Shipbuilding C° » où les ouvriers, divisés en équipes, reçoivent une part des économies réalisées sur les prix de main-d'œuvre prévus. — (D. F. Schloss. *Report on « Gain Sharing » and certain others systems of Bonus on production*). — Board of trade, Labour dept. Londres 1895. Eyre and Spottiswood, p. 63 à 112. Ce rapport contient également de nombreuses indications sur divers autres systèmes (Halsey, Willians et Robinson, etc.).

(2) C'est le cas, par exemple, des primes portant sur les économies de combustibles, qui existaient longtemps avant qu'on n'ait parlé de salaires à primes.

(3) *American Society of Mechanical Engineers*. 1889. *Transactions*, vol. X, p. 600 et suiv. — D. F. Schloss. *Report on « Gain Sharing »*, p. 1 à 26.

que des éléments sur lesquels les ouvriers avaient une action. Très rationnel, très bien étudié, ce système a été abandonné dès 1893, bien qu'il ait donné d'assez bons résultats, et remplacé par un bon système de salaires à la tâche. (Principalement parce qu'il était collectif, et surtout parce que le paiement des primes se faisait attendre trop longtemps.)

III

FORMULES GÉNÉRALES DE SALAIRES (1)

Les descriptions précédentes ne suffisent pas pour permettre de comparer numériquement les résultats donnés par les divers systèmes de salaires dans les différents cas qui peuvent se présenter.

Il faut pour cela recourir aux *formules de salaires* que nous allons établir maintenant.

Notations.

h = salaire horaire de base (minimum garanti).

H = salaire horaire résultant de l'application du système à prime.

On a par définition $H > h$, pour tous les systèmes à primes.

t = temps de base alloué pour l'exécution du travail.

T = temps employé effectivement.

t_1 = temps économisé :

$$t_1 = t - T \qquad [1]$$

(1) Nous avons trouvé pour la première fois l'indication, toute naturelle d'ailleurs, des formules de salaires dans un article de M. Preuss (*Z. V. D. I.*, 1903, 31 janvier, pp. 172 à 175). Nous y étions également arrivé indépendamment, dans une étude sur les divers modes de rémunération du travail (avril-juin 1903, *Portefeuille Économique des Machines*).

Depuis, ces formules ont été développées par M. B. Schiller (*Z. V. D. I.*, 1903, pp. 1207 à 1215, *loc. cit.*), qui y a introduit la notion du taux de prime, principalement en ce qui concerne les cas de salaires horaires de base différents.

Pour les graphiques, c'est, à notre connaissance du moins, dans un article du journal *The Engineer* de 1902 (*The Premium System of Paying Wages*) qu'ont été donnés pour la première fois divers graphiques, dont un analogue à celui de la figure 1. Il y a également, dans le travail de M. Schiller, un certain nombre de tracés analogues à notre figure 2 et même plus complets. Par contre, nous n'avons pas encore rencontré, bien qu'ils soient très simples et faciles à imaginer, de tracés analogues à nos figures 3 à 7.

(t_1 peut être négatif si le temps de base alloué est dépassé).
S = salaire total payé :

$$S = HT \qquad [2]$$

c = taux de prime, ou coefficient de prime. C'est le coefficient par lequel on multiplie le salaire correspondant au temps économisé t_1 pour déterminer la prime; $c \leqslant 1$. (Système Halsey $c = 1/3$; système Weir $c = 1/2$).

r = rapport du temps économisé au temps employé :

$$r = \frac{t_1}{T} = \frac{t}{T} - 1 \qquad [3]$$

P = prime totale gagnée pour le temps économisé t_1 :

$$P = S - hT = (H - h)T \qquad [4]$$

p = prime horaire, en majoration horaire résultant de l'application du salaire à prime :

$$p = \frac{P}{T} = H - h \qquad [5]$$

On a, en général :

$$H = h + p \qquad [6]$$

et

$$S = HT = hT + P \qquad [7]$$

Formules.

1. — Salaire au temps. — Le taux de prime est nul : $c = 0$; quel que soit le temps passé, le salaire horaire est constant :

$$H = h = cte \qquad [8]$$

Le salaire total est proportionnel au temps passé :

$$S = TH = Th \qquad [9]$$

Si l'on rapporte les salaires et les temps à deux axes de coordonnées rectangulaires (les salaires en ordonnées, les temps en abscisses), le salaire horaire est représenté par une parallèle à l'axe des temps d'ordonnée h, et le salaire total par une droite passant par l'origine, et de coefficient angulaire $\alpha = h$.

2. — Salaire a la tache. — Ici, le salaire total est constant :

$$S = th = TH = cte \qquad [10]$$

Il est représenté par une droite parallèle aux abscisses d'ordonnée $S = th$.

Le salaire horaire, par contre, est variable :

$$H = \frac{S}{T} = \frac{th}{T}. \qquad [11]$$

Il décroît quand le temps employé croît, et est représenté par les ordonnées d'une hyperbole équilatère.

Ici, le taux de prime est maximum : $c = 1$.

Donc $$p = \frac{t_1}{T}h = h\left(\frac{t}{T} - 1\right) \qquad [12]$$

et $$P = ht_1 = h(t - T). \qquad [13]$$

Le salaire horaire H est infini pour $T = 0$.

Pour $T = t$, $p = 0$, $P = 0$;

c'est le cas commun à tous les salaires, et

$$h = H \qquad S = ht.$$

Si $T > t$, c'est-à-dire si le temps de base est dépassé, on a :

$$H = \frac{t}{T}h, \qquad [14]$$

c'est-à-dire $H < h$; le salaire horaire est alors plus petit que le salaire horaire de base.

3. — Salaire a prime a taux fixe. (c = constante) (Halsey ou Weir). — Par définition, pour tous les salaires à prime, on n'a à considérer que le cas où il y a économie de temps (puisqu'on retombe sur le salaire au temps, avec $H = h = cte$ [8] et $S = Th$ [9], si le temps de base est dépassé).

On a donc toujours ici $H \geqslant h$,

et $$S = Th + P = hT + ch(t - T), \qquad [15]$$

$$H = h + p = h(1 + cr), \qquad [16]$$

avec $$P = ch(t - T) = chrT, \qquad [17]$$

et $$p = chr, \qquad [18]$$

puisque $\frac{t - T}{T} = r$ [3]

Le salaire total S est représenté par les ordonnées d'une droite [15] dont l'ordonnée So à l'origine est (T = o)

$$So = P = cht_1 = cht, \qquad [19]$$

(puisqu'ici $t_1 = t$), et dont l'ordonnée au point d'abscisse T = t est S = ht, comme d'ailleurs pour tous les systèmes sans exception; son coefficient angulaire est :

$$\alpha = h(1 - c). \qquad [20]$$

Pour un point quelconque, on a :

$$H = h\left[c\left(\frac{t}{T} - 1\right) + 1\right]; \qquad [22]$$

avec $$S = So + T\alpha = TH = h\left[(ct - T) + T\right] \qquad [23]$$

$$p = ch\frac{t_1}{T} = ch\left(\frac{t}{T} - 1\right), \qquad [24]$$

et $$P = cht_1, \qquad [25]$$

c'est-à-dire que le salaire horaire est représenté par les ordonnées d'une hyperbole, et d'autant plus élevé que le taux de prime est plus fort et le temps employé T moindre. Le salaire total, par contre, est limité. Il atteint son minimum pour le temps minimum, c'est-à-dire pour T = o. Alors on a S = So, et H = ∞.

Si on applique ces formules aux cas particuliers, on a, toujours en restant dans le cas où il y a économie de temps (T < t) :

Système Halsey.

$$c = \frac{1}{3}.$$

$$So = \frac{1}{3}ht, \qquad \alpha = \frac{2}{3}h,$$

$$S = \frac{h}{3}[t + 2T].$$

Droite dont l'ordonnée à l'origine est :

$$So = \frac{h}{3}t,$$

avec $$H = h\left[1 + \frac{1}{3}\left(\frac{t}{T} - 1\right)\right] = \frac{h}{3}\left[2 + \frac{t}{T}\right],$$

équation d'une hyperbole.

On a dans ce cas :

$$p = \frac{h}{3}\left(\frac{t}{T} - 1\right) \qquad \text{avec} \qquad P = \frac{h}{3}(t - T).$$

Système Weir.

$$c = \frac{1}{2}.$$

$$So = \frac{1}{2}ht, \qquad x = \frac{1}{2}h1,$$

On a : $$S = \frac{ht}{2} + \frac{Th}{2},$$

droite d'ordonnée à l'origine $So = \frac{ht}{2}$.

On a encore :

$$H = h\left[1 + \frac{1}{2}\left(\frac{t}{T} - 1\right)\right] = \frac{h}{2}\left[1 + \frac{t}{T}\right] = ht + \frac{hT}{2};$$

c'est encore l'équation d'une hyperbole.

On a aussi :

$$p = \frac{h}{2}\left[\frac{t}{T} - 1\right] \qquad \text{avec} \qquad P = \frac{h}{2}(t - T).$$

4. — SYSTÈME ROWAN, A TAUX VARIABLE.

Ici, c est variable.

On a, par *définition du système* :

$$p = h\frac{t_1}{t} = h\left(\frac{t - T}{t}\right). \qquad [26]$$

On a $$P = pT = cht_1,$$

Donc $$c = \frac{pT}{ht_1} = \frac{T}{t},$$ [27]

et $$P = h\left(T - \frac{T^2}{t}\right).$$ [28]

$$H = h + p = h\left[1 + \frac{t - T}{t}\right].$$ [29]

C'est l'équation d'une droite, d'ordonnée à l'origine ($T = 0$), égale à $2h$, et dont l'ordonnée pour $T = t$ est h.

D'autre part,

$$S = TH = Th\left[\frac{2t - T}{t}\right] = 2hT - \frac{hT^2}{t}.$$ [30]

Le salaire total S est donc représenté par les ordonnées d'une parabole passant par l'origine.

La prime totale P est nulle pour $T = t$ (temps de base) et pour $T = 0$ (temps employé nul). Elle passe par un maximum pour $T = \frac{t}{2}$, $\left(\frac{dP}{dT} = 0\right)$, et a alors pour valeur :

$$P \max = \frac{ht}{4}.$$

Donc, avec le système Rowan, la prime totale maxima se produit pour une économie de temps de moitié du temps de base, et elle est égale au quart du salaire total de base.

Il nous reste enfin à voir le

5. — Système différentiel (Gantt).

Ici, la prime totale, constante, est égale à une certaine partie du salaire de base.

On a donc : $$P = cS = cth = \text{constante},$$ [31]

alors $$p = \frac{P}{T} = ch\frac{t}{T},$$ [32]

la prime horaire diminue quand le temps passé augmente, avec la restriction qu'elle n'est gagnée que si $T \leqslant t$.

$$H = h + ch\frac{t}{T},$$ [33]

le salaire horaire est donc représenté par les ordonnées d'une hyperbole, tandis que le salaire total :

$$S = hT + cht = h(T + ct), \qquad [34]$$

est figuré par les ordonnées d'une droite, de coefficient angulaire $\alpha = h$, parallèle par conséquent à la droite représentative du salaire total dans le cas du paiement au temps, mais dont l'ordonnée à l'origine au lieu d'être 0 est :

$$S_0 = cht. \qquad [35]$$

Nous ne prolongerons pas cet examen des formules de salaires, et nous résumerons les résultats qu'elles donnent pour toutes les économies de temps possibles, dans le tableau ci-joint (p. 165), qui indique les résultats des systèmes de salaires les plus usités pour des économies de temps variant de 0 à 100 0/0 du temps de base.

IV

GRAPHIQUES DE SALAIRES

Comparaison graphique des divers systèmes de salaires.

La comparaison entre les salaires donnés par les divers systèmes pour des économies de temps variables devient encore plus facile quand on recourt à la représentation graphique.

C'est ce que nous avons fait dans la figure 1 pour les systèmes de salaires à primes continues les plus usités où les salaires horaires, H, et totaux, S, sont portés en ordonnées, et les temps en abscisses.

Tous les résultats sont indiqués en 0/0 des éléments de base (salaires et temps). On peut d'ailleurs supposer que ce graphique, représentation du tableau précédent, s'applique à un cas concret, celui d'un travail d'une durée prévue de dix heures, exécuté par un ouvrier dont le salaire horaire de base est de 1 f.

Quand le temps employé est égal au temps de base OC($OC = t$), le salaire total S = OB = CA est aussi égal au salaire total de base S_B, et tous les systèmes — sauf le système Gantt, qui ne figure du reste pas ici — donnent alors les mêmes salaires.

Si le temps employé est supérieur au temps de base ($ON'' > OC$),

Résultats des divers systèmes à primes pour des économies de temps variant de 0 à 100 °/₀ du temps de base.

(Les primes et les salaires sont indiqués en °/₀ du salaire horaire de base; — les salaires horaires *h* et le temps de base *t*, ainsi que le salaire total de base S sont les mêmes pour tous les systèmes. — Le temps de base est pris égal à 10 heures.)

Temps passé T en °/₀ du temps de base *t*	Temps économisé $t_1 = T - t$ en °/₀ du temps de base *t*	PRIME TOTALE P					PRIME HORAIRE *p*					SALAIRE TOTAL $S = Th + P$					SALAIRE HORAIRE RÉSULTANT $H = h + p$				
		SYSTÈME DE SALAIRE					SYSTÈME DE SALAIRE					SYSTÈME DE SALAIRE					SYSTÈME DE SALAIRE				
		Temps 1	Tâche 2	Halsey 3	Weir 4	Rowan 5	Temps 1	Tâche 2	Halsey 3	Weir 4	Rowan 5	Temps 1	Tâche 2	Halsey 3	Weir 4	Rowan 5	Temps 1	Tâche 2	Halsey 3	Weir 4	Rowan 5
100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	100	100	100	100	100
90	10	0	100	33	50	90	0	11	3,6	5,5	10	900	1 000	933	950	990	100	111	103,6	105,5	110
80	20	0	200	67	100	160	0	25	8,4	12,5	20	800	1 000	867	900	960	100	125	108,4	112,5	120
70	30	0	300	100	150	210	0	43	14	21	30	700	1 000	800	850	910	100	143	114	121	130
60	40	0	400	133	200	240	0	67	22	33	40	600	1 000	733	800	840	100	167	122	133	140
50	50	0	500	167	250	250	0	100	33	50	50	500	1 000	667	750	750	100	200	133	150	150
40	60	0	600	200	300	240	0	150	50	75	60	400	1 000	600	700	640	100	250	150	175	160
30	70	0	700	233	350	210	0	233	78	117	70	300	1 000	533	650	510	100	333	178	217	170
20	80	0	800	267	400	160	0	400	133	200	80	200	1 000	467	600	360	100	500	233	300	180
10	90	0	900	300	450	90	0	900	300	450	90	100	1 000	400	550	190	100	1 000	400	550	190
5	95	0	950	317	475	47,5	0	1 900	634	950	95	50	1 000	367	525	100	100	2 000	734	1 050	195
0	100	0	1 000	333	500	0	0	∞	∞	∞	100	0	1 000	333	500	0	100	∞	∞	∞	200

Les chiffres 1, 2, 3, 4, 5 en haut des colonnes correspondent aux numéros des graphiques de la figure 1.

tous les systèmes — sauf celui à la tâche — donnent à l'ouvrier les mêmes salaires totaux et horaires qui sont ceux du travail au temps et représentés par la ligne Ax, prolongement de la droite OA (figurative du salaire total au temps), pour les salaires totaux, et par le prolongement de la ligne GI (figurative du salaire horaire au temps) pour les salaires horaires. Seul, le salaire total du paiement à la tâche reste constant dans ce cas, $S_2 = N''a''$, et son salaire horaire (H_2) diminue alors à mesure que le temps employé augmente.

Quand le temps employé est moindre que le temps de base, les points figuratifs se trouvent à gauche de la limite CA. Les divers systèmes donnent alors des résultats différents, comme l'indique le graphique, mais tous compris, pour le salaire total, entre une limite inférieure OA, salaire total au temps, et une limite supérieure AB, salaire à la tâche.

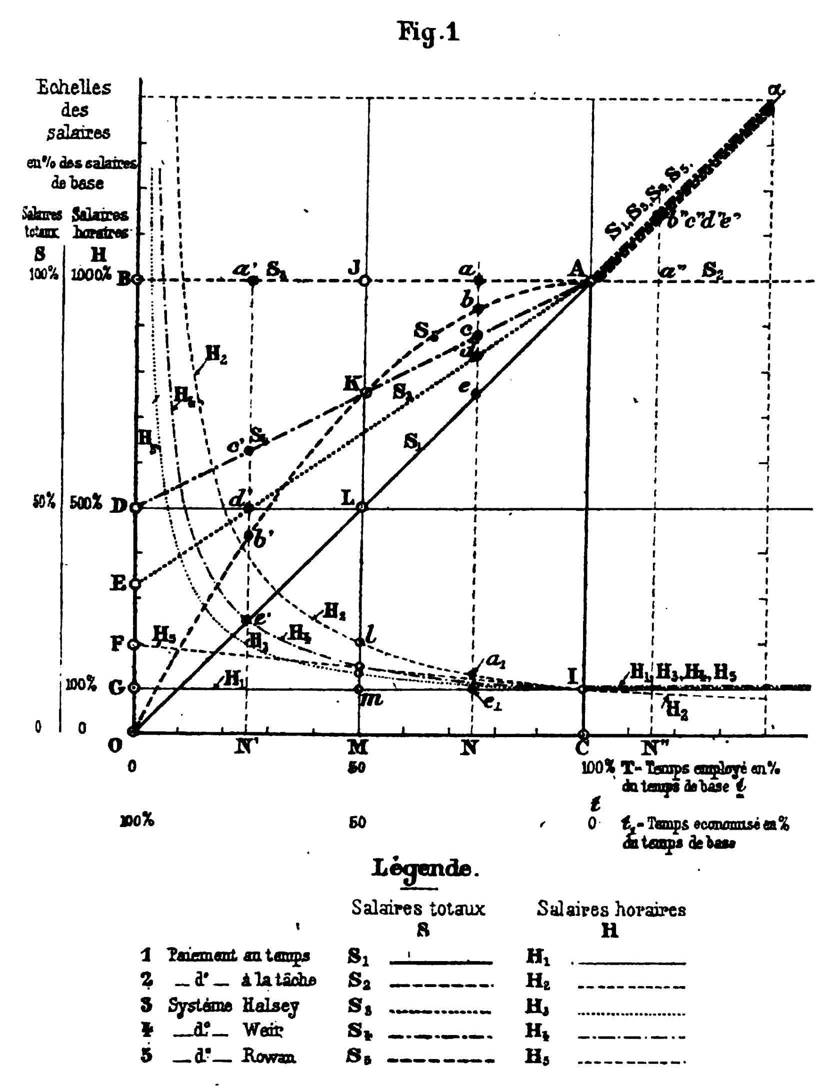
Pour le système Rowan, la courbe représentative du salaire total S_5, est une parabole, et le salaire horaire correspond à la droite FI. Les salaires horaires du système Halsey et dérivés sont représentés par des hyperboles H_3 (Halsey), H_4 (Weir). Les limites des salaires horaires sont, dans tous les cas examinés ici, d'une part, l'hyperbole H_2 du salaire à la tâche et, d'autre part, l'horizontale GI (H_1) du salaire au temps.

S'il y a économie de temps, si par exemple le temps employé est $ON < OC$, nous trouvons sur la verticale du point N les valeurs des salaires totaux et horaires donnés dans ce cas par chaque système.

Quel que soit le système, la prime totale P est représentée par l'écart entre le point *e* sur la droite OA figurative du salaire au temps, et le point correspondant de la courbe S représentative du salaire total du système considéré. Il en est de même des primes horaires (p), qui ont pour valeur l'écart entre GI et la courbe H du système étudié.

On voit ainsi que, pour les faibles économies de temps, le système Rowan donne des primes plus fortes que tous les autres systèmes : Quand le temps employé atteint la moitié seulement du temps de base, sa prime totale, $P = LK = \frac{MJ}{4} = \frac{S_1}{4}$ est maximum et égale au quart du salaire total de base; elle décroît ensuite jusqu'à devenir nulle, quand le temps employé est nul, alors que les autres systèmes donnent toujours des primes totales de valeur finie.

Les salaires horaires éprouvent des variations correspondantes, celui du système Rowan restant fini, les autres devenant à la limite infinis.

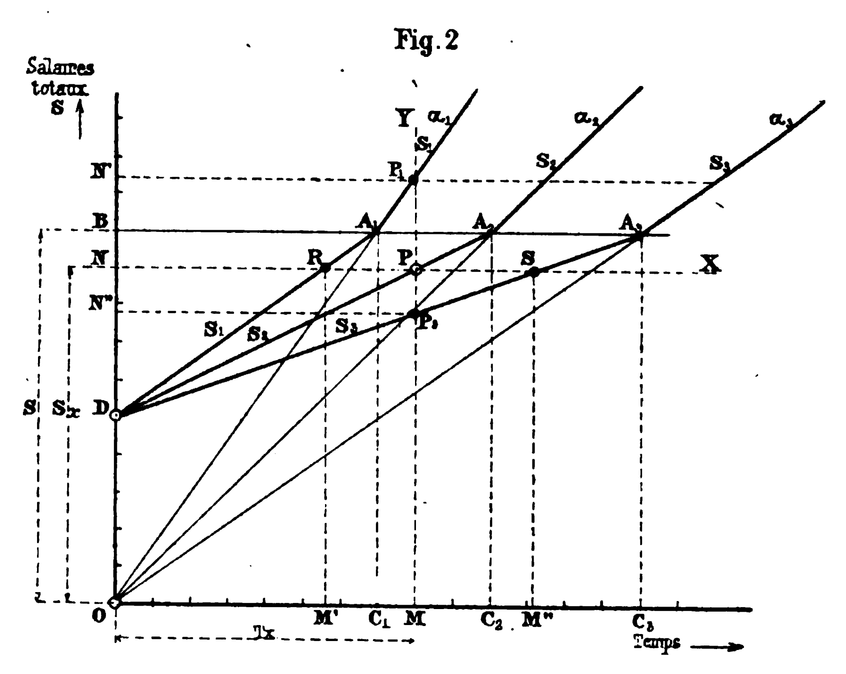


Comparaison des salaires totaux et horaires donnés par les divers systèmes à primes.

Ces graphiques peuvent suffire, en général, mais il est des cas particuliers où ils sont insuffisants et où il faut recourir à des tracés spéciaux. Nous allons en étudier quelques-uns.

CAS DU SALAIRE TOTAL DE BASE CONSTANT ET DES SALAIRES HORAIRES DE BASE VARIABLES A TAUX DE PRIME CONSTANT.

Ainsi, avec le système Willians et Robinson, la base est non plus le temps, mais le prix de la main-d'œuvre, c'est-à-dire le



Salaires totaux dans le cas de salaires horaires de base variables, de salaire total de base et de taux de prime constant.

salaire total. Soit S = OB ce prix *fixe (fig. 2)* et supposons qu'il s'agisse d'ouvriers dont les salaires de base sont h_1, h_2, h_3 (1).

Comme on a S = *cte.*, et que (t_1, t_2, t_3 étant les temps de base), l'on a par hypothèse :

$$S = cte = t_1 h_1 = t_2 h_2 = t_3 h_3,$$

on a :

$$t_1 = \frac{S}{h_1}, t_2 = \frac{S}{h_2}, t_3 = \frac{S}{h_3},$$

c'est-à-dire que t_1, t_2, t_3 varieront en sens inverse du salaire horaire.

(1) Dans les figures 2 à 5, les salaires horaires seraient représentés par des hyperboles, comme du reste dans le cas où le salaire total ne devient pas nul en même temps que le temps employé.

Le graphique sera dans ce cas celui de la figure 2 ($t_1 = OC_1$, $t_2 = OC_2$, $t_3 = OC_3$) (1), où, pour simplifier, on n'a considéré que le cas d'un salaire à taux de prime fixe égal à 50 0/0 du temps économisé $\left(OD = \frac{OB}{2}\right)$.

Les salaires totaux sont représentés ici par les lignes brisées $DA_1\alpha_1$, $DA_2\alpha_2$, $DA_3\alpha_3$ partant toutes du point D. Les lignes $OA_1\alpha_1$, $OA_2\alpha_2$, $OA_3\alpha_3$, représentent les salaires totaux, avec les trois salaires horaires différents, dans le cas du travail au temps, et la droite $BA_1A_2A_3$ le salaire total constant dans le cas du salaire à la tâche.

Pour un même temps employé, $T_x = OM$, les salaires totaux payés seront d'autant plus grands que les salaires horaires seront plus élevés. On peut même remarquer que, pour le salaire horaire le plus élevé, le salaire total payé MP_1 est, dans le cas de la figure, supérieur à celui de base, puisque $T_x > OC_1$.

Pour un même salaire total payé, $ON = S_x$, les temps employés seront OM', OM, OM'' inversement proportionnels aux salaires de base.

Cas du temps de base allongé et du taux de prime diminué à salaire horaire de base constant.

Nous avons vu que M. Halsey considérait comme avantageux d'augmenter le temps de base, en diminuant le taux de la prime. C'est à cela que correspond la figure 3, qui montre les résultats obtenus quand on augmente progressivement le temps de base, en diminuant d'autant plus le taux de la prime que le temps de base est plus allongé.

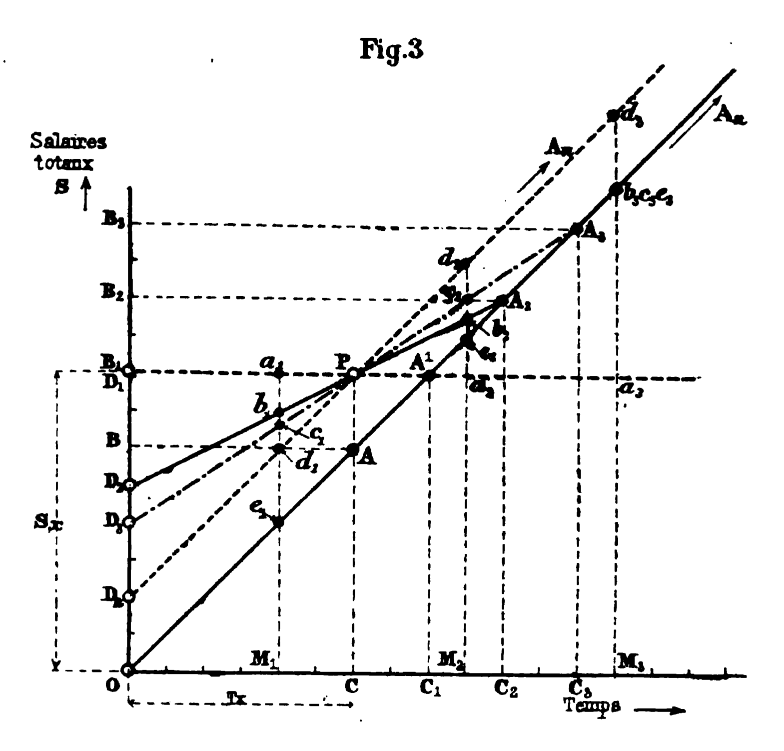
La droite $OAA_1A_2A_3$ représente le salaire total dans le cas du travail au temps simple. En admettant un temps de base OC_2, on aura, avec une prime de moitié du temps économisé, un salaire total qui sera représenté par la droite $D_2A_2A_3A_n$.

Supposons maintenant qu'on ait lieu de prévoir que le travail s'exécutera en un temps $T_x = OC$, et que, d'autre part, on tienne à ce que le salaire total payé, égal dans ce cas à CP, reste le même, même en allongeant le temps de base. La solution est simple : il suffit, si on a fixé OC_3 comme temps de base allongé,

(1) Dans cette figure, on a pris $t_1 = 0{,}7\,t_2$ et $t_3 = 1{,}4\,t_2$.

de joindre A_3P et de prolonger cette droite jusqu'en D_3 pour avoir en OD_3 la prime de base. Le taux de prime est alors $c = \frac{OD_3}{OB_3}$, inférieur au précédent qui était $\frac{OD_2}{OB_2}$. Au fur et à mesure qu'on allonge le temps de base, c'est-à-dire qu'on fait remonter le point A vers la droite, sur la droite figurative du salaire total

Fig.3



Diminution du taux de prime, quand le temps de base augmente.

du travail au temps, si l'on veut garder le même salaire total CP pour le temps T_x, il faut diminuer le taux de la prime. A la limite, le point A est à l'infini en A_n, et la droite représentative D_nPA_n du salaire total dans ces conditions est parallèle à $OA_1A_2A_3$. Dans ce cas extrême, la prime totale serait constante, égale à PA, et serait gagnée dans tous les cas, tandis que le taux de prime serait nul, étant $\frac{ODn}{\infty}$. En fait, il ne peut en être ainsi, car tout stimulant disparaîtrait, et on limite, par exemple, à une durée OM_2 le temps maximum après lequel la prime n'est plus

gagnée ; la prime alors est d_2e_2, et on tombe ainsi sur le cas du système différentiel simple, où la ligne représentative du salaire total est D_n, d_2, e_2, A_2A_3, etc. Si on supposait que $T_x = OC$ est le temps minimum du système différentiel de M. Gantt, la ligne représentative du salaire total pour ce système Gantt serait alors Dn, P, A, $A_1A_2A_3$, etc.

Ici, le salaire à la tâche, en se basant sur le temps $T_x = OC$, correspondant au salaire total CP, donnerait comme salaire total la droite Bd_1A.

Donc, bien que différents en apparence, les divers systèmes peuvent être en quelque sorte considérés comme les limites les uns des autres.

Cas du salaire total de base constant avec des salaires horaires de base et des taux de prime variables.

Il est intéressant d'examiner le cas où l'on désire obtenir, pour *une économie de temps donnée, le même salaire total, avec des salaires horaires différents, en partant d'un même salaire total de base.*

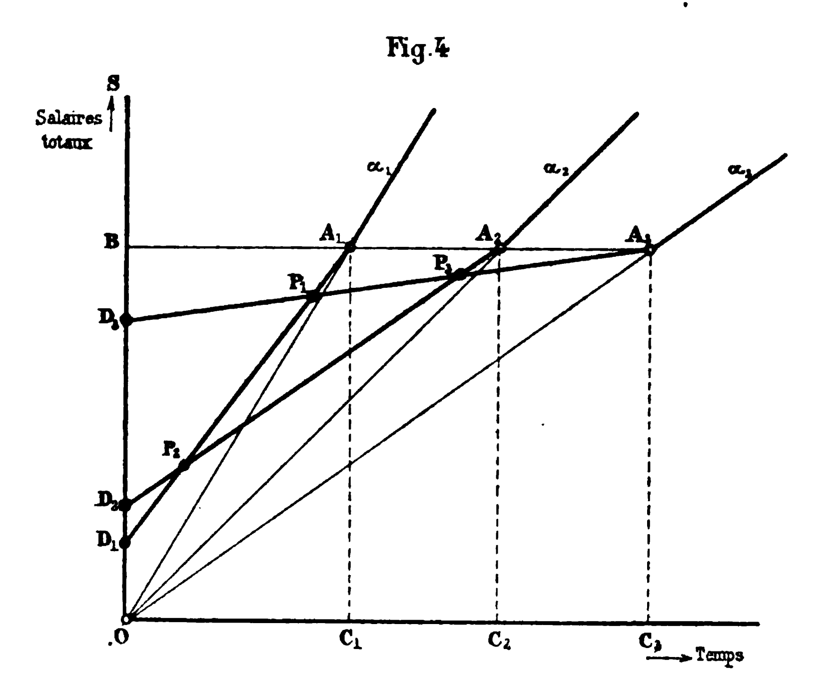
Si l'on choisit arbitrairement les taux de primes, en prenant, par exemple, trois salaires horaires différents, le salaire total de base étant le même, on obtiendra *(fig. 4)* comme lignes représentatives des salaires totaux, des lignes brisées $D_1A_1\alpha_1$, $D_2A_2\alpha_2$, $D_3A_3\alpha_3$, dont les intersections forment un triangle $P_1P_2P_3$ (à la condition toutefois, que nous admettrons, que les taux de prime soient choisis inversement proportionnels aux salaires horaires correspondants).

Pour avoir un même salaire total, pour un même temps économisé prévu, il faut que les trois points $P_1P_2P_3$ soient confondus en un seul, sur la verticale correspondant au temps prévu. En général, cette condition est indéterminée et, pour avoir une solution, il faut fixer *a priori*, soit le taux de la prime pour l'un des salaires horaires considérés, soit encore le salaire total qui doit correspondre au temps prévu. C'est ainsi qu'a été établie la figure 5, pour un temps prévu $T_x = OM$ et un salaire total correspondant S_x. On a ainsi le point P (qui ne peut naturellement être pris que dans le triangle OA_1B). Connaissant les divers salaires horaires de base, et le salaire total de base $S = OB$, déterminé comme précédemment, on construit facilement, comme pour la figure 4, les lignes brisées représentatives des

salaires totaux $D_1PA_1x_1$, $D_2PA_2x_2$, $D_3PA_3x_3$ (1) qui passent toutes par le point P et donnent toutes pour le temps T_x le même salaire total S_x.

Si le temps employé est OM', supérieur à T_x et inférieur à OC_1, les salaires totaux donnés par les trois systèmes seront représentés sur la verticale M'*a*, par les haueturs M'*e*, M'*d*, M'*c*; dans cette région, c'est donc le salaire horaire le plus élevé qui donnera le salaire total le plus fort. Ce sera l'inverse quand le

Fig. 4



Salaires totaux dans le cas de salaire total de base constant, de salaires horaires et de taux de prime variables.

temps employé sera OM' plus petit que T_x (verticale M'*a e b d f*), c'est-à-dire à gauche de P.

Ici les primes totales, quand le temps employé est nul, sont différentes, et représentées par OD_1, OD_2, OC_3.

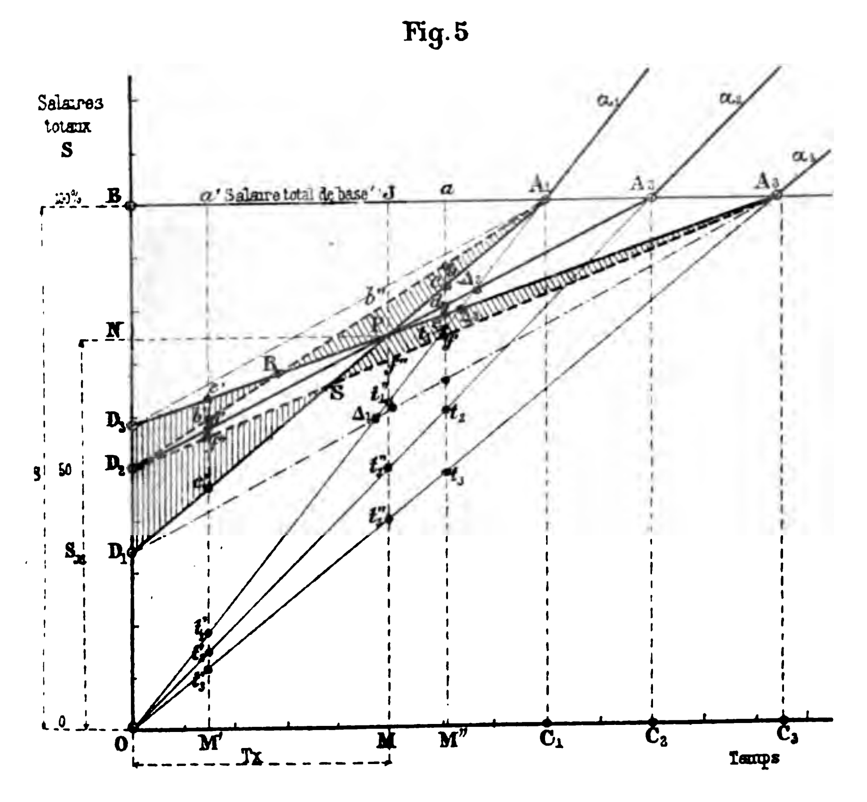
On peut comparer ces résultats à ceux de la figure 2, qui est établie avec un seul taux de prime, et les mêmes salaires horaires et les mêmes temps de base. Les lignes représentatives

(1) On pourrait, d'ailleurs, avec un calcul très simple, déterminer numériquement les valeurs OD_1, OD_2, OD_3 des primes de base.

des salaires totaux sont alors dans la figure 5 (en prenant comme prime de base unique OD_2) $D_2A_1\alpha_1$, $D_2A_2\alpha_2$, $D_2A_3\alpha_3$.

Les différences entre les résultats obtenus dans ces deux cas varient naturellement suivant les valeurs relatives des salaires horaires et l'économie de temps prévue. Dans la figure 5, elles sont représentées par les surfaces hachurées. On voit qu'elles né sont pas très considérables, même alors que les salaires horaires diffèrent notablement. (La figure 5 est établie pour des salaires

Fig. 5



Recherche des conditions d'égalité des salaires totaux, pour une économie de temps déterminée avec des salaires horaires de base différents.

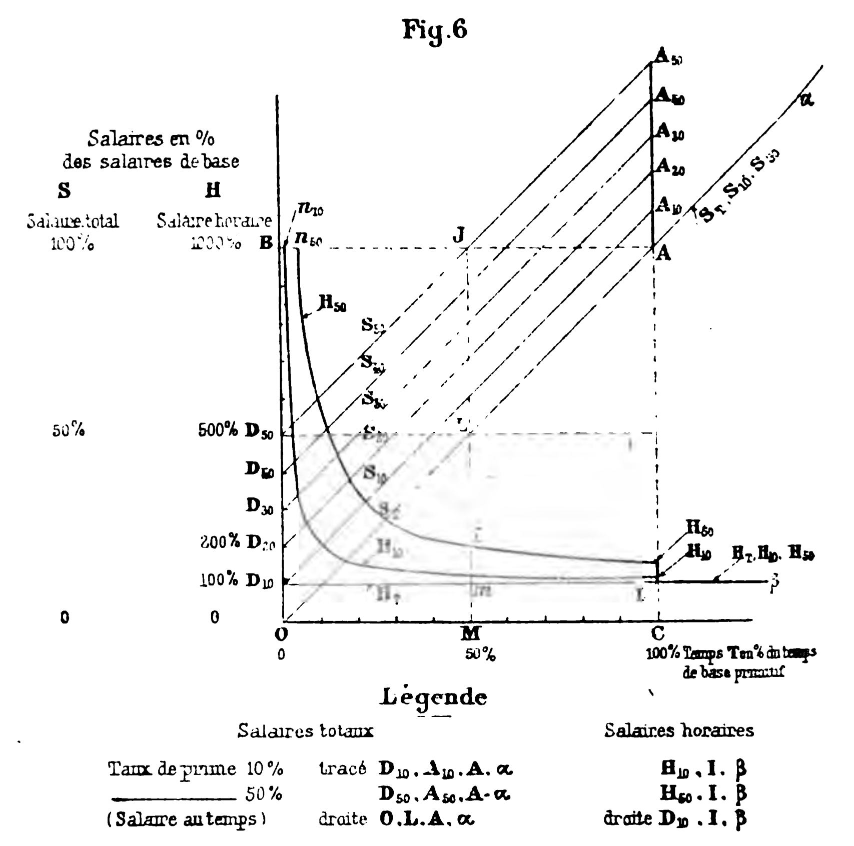
horaires dont les valeurs relatives sont 0,8, 1 et 1,25; le temps T_x est pris égal à la moitié du temps OC_2). En général, le temps employé sera supérieur à la moitié du temps de base et l'écart entre les salaires horaires plus faible que celui indiqué en $b''f''$; les différences entre les salaires totaux donnés par les deux procédés seront donc faibles, de telle sorte qu'il semble préférable

de se limiter à un seul taux de prime, même dans le cas de salaires horaires différents (qui doit d'ailleurs être considéré comme exceptionnel, ainsi que nous l'avons vu), plutôt que de recourir à la combinaison indiquée par la figure 5, que nous avons d'ailleurs examinée ici plutôt pour donner une idée des résultats des systèmes à primes dans des cas spéciaux, que dans le but d'en recommander l'application pratique.

Système différentiel.

La figure 6 indique les résultats du salaire différentiel; en supposant que les primes soient successivement de 10, 20, 30,

Fig. 6



Salaires totaux et horaires du système différentiel, pour des taux de prime différents, et même temps de base.

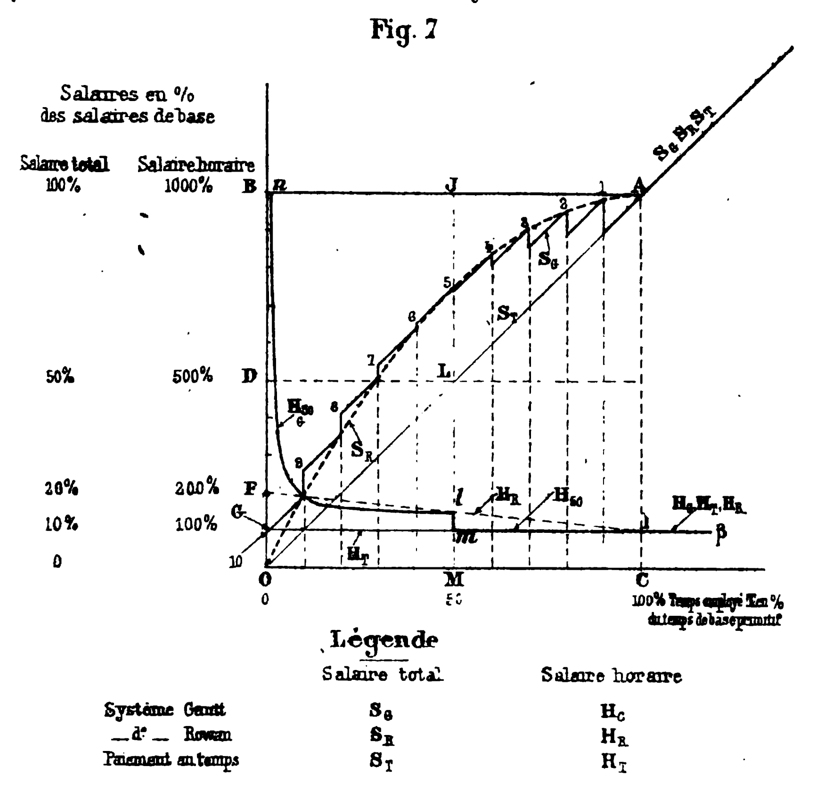
40, 50 0/0 de la valeur du temps de base, on obtient comme lignes représentatives pour le salaire total les lignes brisées

$S_{10}, \ldots, S_{50}$ ($D_{10}A_{10}A\alpha \ldots, D_{50}A_{50}A\alpha$) et pour les salaires horaires des tracés composés d'hyperboles (dont on n'a figuré que les deux extrêmes H_{10} et H_{50}), d'une partie verticale sur CA, et de l'horizontale Iβ. Toutes ces lignes présentent une chute brusque au moment du passage par le temps de base, au delà duquel on retombe sur les résultats du salaire au temps (droite Aα pour le salaire total S_T et horizontale $D_{10}I\beta$ pour le salaire horaire H_T).

Cas limite.

Enfin, bien qu'il ne s'agisse là que d'un cas théorique, nous indiquerons qu'on peut, dans certaines conditions, considérer le système Rowan comme la limite du système Gantt.

Fig. 7



Comparaison entre les résultats des systèmes Gantt et Rowan.

En effet, le temps de base du système Gantt étant un temps *minimum* et celui des autres systèmes un temps *moyen*, les

graphiques correspondants ne sont pas *superposables en général* (c'est pourquoi nous n'avons pas fait figurer le système Gantt dans les graphiques d'ensemble de la figure 1).

Supposons qu'on admette que les temps minima du système Gantt sont respectivement égaux à 90, 80, 70... 0/0, des temps de base moyens du système Rowan, et que pour chacune de ces valeurs on choisisse comme prime 10, 20, 30... 0/0 du salaire correspondant au temps de base minimum.

Dans ces conditions, on obtiendra pour le salaire total, comme l'indique la figure 7, une ligne brisée S_G dont l'enveloppe sera la parabole du salaire total de M. Rowan.

Les salaires horaires seront ici représentés par des lignes mixtes composées d'une partie d'hyperbole tant que le temps employé sera inférieur à la limite, et ensuite de la droite H_T du salaire au temps, raccordées par une verticale. On a représenté celle de ces lignes, *nlm*Iβ qui correspond à un temps minimum égal à 50 0/0 du temps moyen. Le sommet *l* se trouve sur la droite IF ou H_R représentative du salaire horaire Rowan.

Ici on retrouve donc encore des points communs entre des systèmes complètement différents en apparence.

V

RÉSULTATS DES SALAIRES A PRIMES

Les avantages des systèmes à primes sont de deux sortes : à côté des avantages immédiats résultant de ce que l'ouvrier, en augmentant son salaire horaire, diminue le prix de la main-d'œuvre afférente à un travail donné, il en est d'autres indirects. qu'on ne peut évaluer d'une manière rigoureuse : augmentation de production d'un atelier donné, c'est-à-dire réduction proportionnelle de la part des frais généraux afférant à l'unité de production ; perfectionnement des procédés de fabrication, par suite de la connaissance plus complète des opérations effectuées, résultant de leur étude préalable nécessaire pour la détermination des temps de base.

Plusieurs conditions changeant ainsi simultanément, on ne peut faire exactement la part qui revient à chacune d'elles dans

les résultats obtenus. Tout ce qu'on peut dire, c'est que, en attribuant les réductions de prix de main-d'œuvre constatées au seul stimulant donné par la prime, on fait une hypothèse trop favorable aux systèmes à primes. Par contre, leur emploi entraînant d'autres avantages (diminution des frais généraux proportionnels, par exemple) qu'on ne peut chiffrer, on peut, et c'est ce que nous ferons, admettre qu'il se fait une sorte de compensation, et, comme il est impossible d'ailleurs de faire autrement, pour apprécier les résultats d'un système à prime, comparer les temps passés et les salaires obtenus avant et après son introduction, pour les mêmes travaux.

D'une manière générale — en tant qu'il s'agit du moins de travaux individuels, aussi subdivisés que possible — les résultats sont très satisfaisants tant pour les patrons que pour les ouvriers; c'est l'avis général de tous ceux qui, ayant employé ces systèmes ont fait connaître leur opinion sur le sujet, opinion confirmée par des chiffres, dont nous nous bornerons à indiquer seulement quelques-uns ici (1).

En 1899, M. Halsey indiquait (2) des économies de temps de 43 et 23 0/0, des économies de salaires totaux de 25 et 12 0/0, et des majorations de salaires journaliers de 29 et 18 0/0.

Une comparaison portant sur deux séries identiques de travaux d'une durée totale prévue de 20000 heures environ, exécutées l'une suivant le salaire à prime, l'autre à la journée, aurait donné pour le salaire à prime une économie de temps de 43 0/0, un salaire total de 75 0/0 du salaire primitif, avec un salaire journalier de 129 0/0 du salaire de base.

Le système à prime de moitié a donné des résultats analogues. MM. Weir ont obtenu des accroissements de salaire variant de 10 à 40 0/0 (3) (ateliers d'environ 500 ouvriers, pour la fabrication de pompes, condenseurs, etc.).

Les résultats obtenus par M. Rowan, sont également très encourageants (4). Le temps employé a été réduit pendant quatre

(1) Nous faisons actuellemen pour le Musée Social, une enquête sur les résultats des salaires à primes en Angleterre et aux États-Unis, à la suite de laquelle nous pensons pouvoir donner des renseignements plus complets que ceux figurant ici. On trouvera d'ailleurs dans les publications déjà citées et dans les périodiques américains et anglais de ces dernières années, *American Machinist*, *Engineer*, *Engineering*, *Engineering Magazine*, notamment, de nombreuses indications à ce sujet.

(2) *American Machinist*, 1899.

(3) Internat. Engineering Congress, Glasgow, 1901, Section III. *Some Efficiency factors in an Engineering Business, by* W. Weir et J. R. Richmond, de Glasgow.

(4) *Proceedings of Institution of Mechanical Engineers*, 1901, p. 865.

années consécutives (depuis 1898) successivement de 20, 23, 31, 37 0/0, ce qui correspond aux mêmes augmentations de salaire (1). L'expérience a montré à M. Rowan que *toutes les autres conditions restant les mêmes*, quand il remplaçait le salaire au temps par le système à prime, les temps étaient réduits de 15 0/0 environ. Les réductions de temps supérieures à ce chiffre devraient, d'après M. Rowan, être attribuées à l'aide donnée à l'ouvrier par la direction, par exemple, sous forme de nouveaux moyens de fabrication, etc.

Chez MM. Barr et Stroude, fabricants de télémètres à Anniesland, près Glasgow (2), le système Rowan, depuis 1902, aurait donné, comme moyenne de primes payées en pour cent du salaire horaire de base, en 1902, 9 1/2 0/0; en 1903, 14 0/0; en 1904, 21 0/0; et en 1905, 19 0/0.

Ici encore, la prime va en croissant d'année en année, sauf pour la dernière; mais cette diminution finale serait due à ce que les heures supplémentaires ont été plus nombreuses cette année-là que les précédentes.

Dans des ateliers mécaniques et de constructions navales (3), le système Rowan, depuis 1902, aurait produit une économie de temps, par suite une majoration de salaire variant de 20 à 30 0/0, atteignant parfois jusqu'à 60 0/0.

Aux États-Unis, dans les ateliers de la Société Westinghouse, à Pittsburg (4), le salaire à prime a conduit à une augmentation de production atteignant de 50 à 150 0/0.

Tout ce qui précède s'applique aux systèmes à *temps de base moyen*.

Si nous passons au *système différentiel à temps de base minimum* de M. Gantt, nous trouvons des résultats encore meilleurs (5); dans certains cas, le temps employé aurait décru dans le rapport de 70 à 28,75.

Les divers systèmes de salaires à primes (employés le plus souvent dans des ateliers de constructions mécaniques) ont donc,

(1) *Proceedings of Institution of Mechanical Engineers*, 1903. A. *Premium system*, etc., p. 218.

(2) *Engineering*, 28 mai 1906, p. 678.

(3) Scott's Shipbuilding and Engineering Works Greenock (*Engineering*, 9 février 1906 p. 171).

(4) Paul Möller. *Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure*, 1903, p. 1134.

(5) *Proceeding of American Society of Mechanical Engineers*, New York, année 1902, et *Engineering*, 14 février 1902, p. 208.

en général, donné de bons résultats, en tant du moins qu'il s'agit de systèmes individuels.

Avec les divers systèmes à prime *collective*, au contraire, les résultats ont été, dans leur ensemble, différents ou plutôt si insignifiants qu'on finissait souvent par les abandonner.

C'est ainsi, par exemple (1) que MM. Yale, Towne et Cie, fabricants de portes d'écluses et de grues à Stamford, Connecticut (États-Unis), avaient introduit, dès 1887, dans leurs ateliers, un système de primes spécial faisant participer les ouvriers aux économies — tant de main-d'œuvre que de matières — réalisées par eux.

Ce système qui, appliqué à 500 ouvriers environ, avait donné une prime correspondant à un accroissement moyen du salaire journalier de 5 0/0 environ a été, dès 1893, graduellement abandonné, pour faire place à un bon système de salaire à la tâche, principalement parce que le travail était collectif, et surtout que les ouvriers devaient attendre trop longtemps le paiement des primes.

De même MM. Willians et Robinson Ltd, [de Rugby (machines et turbines à vapeur et moteurs à pétrole), qui emploient actuellement 924 ouvriers, et chez qui environ 20 0/0 du travail total est fait avec le salaire à primes individuelles (Reference rates) que nous avons décrit, nous ont indiqué que « la tentative de mener l'atelier de montage par groupes, et la fonderie comme un tout (en donnant une prime basée sur le tonnage), n'avait pas été couronnée de succès. Il a été nécessaire de fixer des primes pour les travaux individuels, au lieu de les faire pour des travaux de groupes d'ouvriers ».

Il faut noter qu'il s'agit là d'une entreprise qui emploie le salaire à prime individuelle depuis 1891, en a obtenu les résultats les plus satisfaisants, et a l'intention d'en étendre l'emploi le plus possible.

De même le « système de bonne camaraderie » institué, dès 1891, par la « Thames Iron Works and Shipbuilding C^o Ltd Blackwall (Londres E) (chantiers de constructions navales et mécaniques) a donné des résultats insignifiants, le boni moyen pour les années 1892 à 1894, pour la fonderie par exemple, ne représentant que 0,79 0/0 des salaires au temps. Ici encore, les ré-

(1) *Report on « Gain Sharing » and certain other systems of bonus on production*, by M. David F. Schloss, pp. 7 et suiv.

sultats étaient d'autant meilleurs que les groupements étaient moins nombreux (1).

Tout ceci n'est donc pas à l'avantage des systèmes collectifs. Pourtant, dans certains cas, ils ont donné de bons résultats. Ainsi, M. Richard Mowbray Laming, Ingénieur de l'usine à gaz de Moscou, a indiqué (2) qu'une prime collective pour la production du gaz avait donné de bons résultats, entraînant une augmentation de production de plus de 20 0/0 et des majorations correspondantes de salaires. Appliqué à la réparation des compteurs, un système de prime analogue, également collectif, basé sur le prix moyen de revient de la réparation de chaque compteur, a donné de très bons résultats, puisque le prix de revient de l'unité tomba de 1,63 à 0,76.

Ces résultats, nettement satisfaisants, sont-ils dus à ce que l'ouvrier russe serait habitué à travailler et à vivre en collectivité, tandis que l'ouvrier anglo-saxon serait plus individualiste? En tout cas, le seul fait qu'ils ont été obtenus constitue un argument non négligeable en faveur des systèmes à primes collectifs — quand il ne sera pas possible d'employer les systèmes individuels.

Attitude des ouvriers et des Unions.

Jusqu'à ces derniers temps, les salaires à primes ne semblaient avoir rencontré de ce côté qu'une opposition modérée et plutôt de principe.

C'est ainsi que MM. Willians et Robinson indiquent que le salaire à prime qu'ils emploient depuis 1891 n'a rencontré que peu d'opposition de la part des ouvriers appartenant aux trade unions, et pas du tout de la part des non unionistes.

Le Comité exécutif de l'Amalgamated Society of Engineers, en particulier, avait pourtant, dès 1895 (3), exprimé son opposition formelle à ce sujet (en répondant à une demande faite par

(1) *Report on « Gain Sharing »*, p. 104.
C'est d'ailleurs ce qui se passe pour le travail à la tâche collectif; quand les groupes sont très peu nombreux, composés d'ouvriers s'entendant bien et pouvant se surveiller mutuellement, les chances de bons résultats sont beaucoup plus grandes qu'avec des groupements nombreux.

(2) Compte rendu du 32e Congrès de la Société technique de l'Industrie du Gaz. Le Havre 1905. — Séance du 23 juin, pp. 410 et suiv.

(3) D. F. Schloss. *Report on « Gain Sharing »*. 1895, p. 119.

M. Schloss, au nom du Board of Trade), en déclarant qu'il considérait toutes les méthodes de salaires à primes comme revenant en somme au paiement aux pièces et ne pouvait faire autrement que de s'opposer par principe à tous ces systèmes.

Par contre, dans une conférence qui a eu lieu à Carlisle, les 19 et 20 août 1902 (1), entre les représentants des patrons (Engineering Employers' Federation) et ceux des ouvriers (Amalgamated Society of Engineers), ces derniers avaient consenti à cesser toute opposition au système à prime, aux quatre conditions suivantes :

Garantie du salaire minimum dans tous les cas; — travail supplémentaire et de nuit payé comme antérieurement; — les temps de base ne seront pas modifiés, à moins d'un changement dans les méthodes ou les procédés de fabrication; — aucune firme ne commencera à employer le système à prime, si elle n'a pas l'intention de continuer à l'appliquer. (Cette dernière condition vient de la crainte de voir les patrons, après avoir, au moyen du salaire à prime, déterminé les temps minima nécessaires, revenir au salaire à la tâche, en basant les prix sur les temps ainsi réduits.)

La question semblait donc ainsi tranchée définitivement. Toutefois, cet accord n'avait pas été sans soulever des protestations de la part des ouvriers, protestations que MM. Georges N. Barnes, le secrétaire général de l'Amalgamated Society of Engineers, et Sidney Webb s'étaient efforcés de calmer (2). En présence de l'extension prise depuis cette époque en Angleterre par les systèmes à primes, on pouvait croire qu'ils avaient réussi, et que toute opposition était définitivément éteinte.

Dans les autres pays, les choses se passaient à peu près de la même façon : les ouvriers manifestaient au début une défiance pour ainsi dire instinctive, qu'on pouvait vaincre en leur donnant des garanties suffisantes.

Ainsi, aux États-Unis, les ateliers Westinghouse à Pittsburg (3) avaient pu adopter le système à primes, mais à la condition de prendre une série d'engagements analogues aux précédents, de nature à rassurer les ouvriers.

De même, l'Union allemande des ouvriers des métaux (Deuts-

(1) *The Engineer*, 19 sept. 1902.

(2) *Monthly Journal of the Amalgamated Society of Engineers*, 1902; — *The Engineer* 17 oct. 1902.

(3) Paul MÖLLER. *Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure*. 1903, p. 1135.

che Metallarbeiter Verband) (1), dans sa septième Assemblée générale de Leipzig, en 1905, proclamait bien le système de salaires à primes un des plus raffinés moyens d'exploitation de l'humanité ouvrière, et s'y déclarait opposée en principe, mais s'en tenait, en somme, à cette déclaration.

Donc, dans l'ensemble, jusqu'à ces derniers temps, l'opposition des unions semblait devoir rester plutôt platonique et ne pas empêcher l'extension des salaires à primes (2). Mais, au début du mois de juin dernier, une grève très violente, intéressant environ 2000 ouvriers, a éclaté dans les ateliers de MM. Vickers et Sons et Maxim, à Erith. Elle avait comme prétexte le remplacement du paiement au temps par un système à prime. Est-ce là la cause réelle de la grève, les systèmes à primes ayant déjà fonctionné sans à-coups dans bon nombre d'autres ateliers anglais pendant des années à la satisfaction mutuelle des patrons et des ouvriers? Ou bien encore (et c'est ce qui paraît le plus probable) le passage d'un système à l'autre n'a-t-il pas été tenté avec toutes les précautions désirables? Les temps de base n'étaient-ils pas trop courts? Quoi qu'il en soit, après une durée d'un mois, et des incidents de toute nature, cette grève s'est terminée le 10 juillet dernier par un arrangement d'après lequel le premium system était abandonné, et les hommes repris aux anciennes conditions du travail au temps.

L'avenir nous dira si cet échec est définitif ou si, au contraire, cette tentative ne sera pas recommencée dans les mêmes ateliers, cette fois après entente préalable avec les ouvriers (3). Étant donnés les avantages du système à primes pour tout le monde, il est permis d'espérer que c'est cette dernière solution qui interviendra.

(1) *Sozial Praxis*. 29 juillet 1905, p. 1022.

(2) Bien que l'on ait signalé, dès 1904, aux États-Unis, des grèves causées par l'application du salaire à primes (Franck Richard, *Is Anything the matter with piece-work: Transaction of the American Society of Mechanical Engineers*, et *Engineering*, 15 janv. 1904).

(3) A l'heure actuelle, d'ailleurs, la situation semble assez indécise, en Angleterre, tout au moins; d'une part, en effet, les représentants des ouvriers (Federation of Engineering and Shipbuilding Trades of the United Kingdom) ont déclaré dans leur dernière Assemblée annuelle, à propos de la grève d'Erith, qu'ils étaient opposés en principe au système à prime (*Engineering*, 9 août 1907). D'autre part, d'après un arrangement conclu entre les représentants des patrons (Engineering Employers' Federation), et ceux des ouvriers (Amalgamated Society of Engineers), au début de cette année, et soumis à la ratification des ouvriers, la liberté pour le patron et l'ouvrier de s'entendre par accord mutuel, en ce qui concerne les salaires, devrait être complète (*Engineering*, 26 juillet 1907, p. 113).

VI

APPLICATION DES SYSTÈMES A PRIME

1° Conditions de succès d'un système a prime.

Sans entrer dans les détails, tout ce que l'on peut dire est que les systèmes à prime ont le plus de chances de succès dans des entreprises industrielles bien organisées, où l'on peut prédéterminer avec une certaine précision la durée des opérations à effectuer (par exemple, dans des ateliers de constructions mécaniques), avec des travaux exécutés par des ouvriers opérant isolément, d'une durée restreinte, bien délimités, facilement vérifiables. Par contre, c'est dans des ateliers peu importants, à organisation rudimentaire, où les travaux sont collectifs, d'une durée difficile à prédéterminer, qu'ils conviendraient le moins, tandis que — sauf réserves — la participation aux bénéfices de tout ou partie du personnel pourrait alors donner de bons résultats.

Bien entendu, il n'y a là rien d'absolu, et, ainsi qu'on l'a vu plus haut, il peut se présenter des cas où les systèmes collectifs s'appliquent avec avantage.

Presque toujours, les systèmes à primes ont succédé au salaire au temps pur et simple. Ce n'est guère qu'exceptionnellement qu'ils auraient remplacé le salaire à la tâche (1).

D'autre part, on n'a jamais indiqué que la présence simultanée, dans un même atelier, d'ouvriers travaillant au temps et à la tâche ait présenté des inconvénients (MM. Willians et Robinson, Rowan, etc.). S'il en avait été autrement, d'ailleurs, il aurait fallu renoncer aux systèmes à primes, puisque dans tout atelier on est bien obligé d'avoir un certain nombre d'ouvriers (manœuvres, etc.) travaillant à la journée.

Par contre, la question d'organisation est fort importante;

(1) M. Rowan (*A Premium System, etc.*, p. 209), indique un seul cas de cette substitution : celui d'ateliers importants où, après une interruption complète de travail pendant deux mois, la substitution a eu lieu, avec avantage d'ailleurs. M. Halsey aurait signalé un cas analogue pour les Newton Machine Tools Works (*The Premium System of Paying Wages*, p. 14).

comme on va le voir un peu plus loin, en effet, les salaires à primes ne donnent tous les résultats qu'on peut en attendre que dans des ateliers très bien organisés.

2° Choix du système.

On ne peut dire, au point de vue général, que peu de choses à ce sujet, d'autant plus que le succès ne dépend peut-être pas tant du système choisi que des conditions dans lesquelles se fait son application.

Nous indiquerons seulement que le système le plus simple, à taux de prime fixe et égal à la moitié de l'économie de temps, paraît être le plus répandu (1). Si l'on craint d'arriver à des salaires horaires trop élevés, on peut diminuer le taux de la prime ou employer soit le système Halsey à taux de prime réduit et temps de base allongé, soit le système différentiel, soit celui de M. Rowan, bien que les primes qu'il donne étant d'autant plus faibles que les économies de temps sont plus grandes, on puisse se demander s'il offre un stimulant suffisant pour obtenir le maximum possible d'économie (2)?

D'autre part, il est vrai, le système Rowan, au lieu d'évoquer dans l'esprit de l'ouvrier, comme les autres salaires à primes, l'idée du partage de l'économie réalisée, attire son attention sur ce qui l'intéresse le plus, l'augmentation du salaire horaire résultant de toute économie de temps. A ce point de vue, il présenterait un avantage sinon sur les systèmes à primes à taux de moitié, où (qu'on nous passe l'expression) on partage la poire en deux, du moins sur ceux à taux faible, du tiers ou du quart, avec lesquels il y a, tout au moins en apparence, une inégalité dans le partage qui peut choquer l'ouvrier, inégalité qu'on peut chercher à rendre moins apparente soit en donnant une prime de tant par heure économisée, sans parler de partage, soit en employant d'autres combinaisons analogues qui semblent toutefois s'être peu répandues jusqu'ici.

Enfin, si l'on peut déterminer le temps de base minimum, il devient possible d'employer le système Gantt.

(1) Ou, lorsque les salaires horaires de base sont différents, le système *à prix de base* (au lieu de temps de base).

(2) Bien qu'il paraisse compliqué, ce système est parfaitement compris des ouvriers : M. Rowan ayant voulu faire varier les primes par échelons de 5 en 5 0/0, par exemple les limiter à 25 0/0 pour toute économie de temps comprise entre 25 et 30 0/0 des temps de base, les ouvries qui ne pouvaient arriver à l'échelon supérieur s'arrangeaient pour gagner juste 26 0/0 et non 28 ou 29 0/0 des temps de base.

3° Détermination du temps de base.

Cette détermination, base de tout système à prime, doit être très exacte, plutôt en général un peu large, pour que les ouvriers aient la possibilité de gagner des primes sans efforts excessifs (1), ce qui évite d'augmenter les résistances plus ou moins passives que rencontre généralement tout changement touchant aux salaires.

La méthode la plus économique et la plus simple, qui ne demande que peu ou pas de travail de la direction, et peu ou pas de personnel supplémentaire, consiste à relever, au moyen d'un pointage quelconque, la durée globale de chaque opération, par exemple à indiquer pour le tournage d'un arbre tant de temps. On n'a ainsi aucune base précise d'évaluation, et il faut, dans la plupart des cas, discuter les temps de base avec les ouvriers, ce qui est une source de contestations, car ils ne se font souvent pas une idée précise du temps nécessaire pour un travail, en particulier à répétition, et l'estiment généralement plus long qu'il n'est, et surtout ne sera nécessaire quand ils en auront pris la routine (2). De plus, n'ayant aucune indication sur la manière dont s'exécutent les opérations, on ne peut savoir ni où, ni en quoi elles pêchent. Cette méthode (3) n'est donc absolument pas à employer, à moins qu'on ne puisse faire autrement. C'est, en effet, la seule à la portée d'entreprises peu importantes, à organisation rudimentaire, où l'on ne trouve ni le personnel ni surtout l'esprit d'observation méthodique nécessaire à des déterminations plus précises. Il vaudrait d'ailleurs mieux, dans ces conditions, ne pas essayer d'appliquer un système à prime, car

(1) Voici un exemple de l'avantage qu'il y a à déterminer largement le temps de base. Avec un temps de base de 90 heures, la première fois, un ouvrier s'est fait une petite prime, puis le temps employé alla en augmentant et dépassa celui de base. Le temps de base fut alors majoré de 5 heures. Comme conséquence, le temps employé fut réduit à 54 heures. L'ouvrier ne s'était décidé à faire tous ses efforts que lorsque la prime lui avait paru en valoir la peine. (*The Premium System of Paying Wages; — The Engineer*, p. 23).

(2) C'est en particulier ce qui arrive avec le travail à la tâche, et le gros obstacle à la fixité des temps de base dans ce cas : au début d'une fabrication nouvelle, en particulier, quand le minimum de salaire n'est pas garanti, on est pour ainsi dire obligé de prendre le temps de base assez long pour que l'ouvrier se fasse à peu près son salaire moyen, ce qui conduit parfois à des salaires journaliers très élevés, une fois la routine bien prise.

(3) En dehors de sa simplicité, son seul avantage, d'ailleurs négatif, est que, les conditions du travail n'étant changées en rien, les résultats favorables obtenus sont uniquement dus au stimulant de la prime et qu'on peut ainsi être fixé exactement à ce sujet.

il est pire de faire une tentative infructueuse, pour revenir ensuite au *statu quo ante*, que de ne rien essayer. Si, néanmoins, on tenait à le faire, le mieux serait d'employer, les erreurs dans les temps de base étant probables, le système à taux fixe, qui est le plus simple, avec une prime faible (1).

Pour déterminer avec toute la précision nécessaire la durée du temps de base, il est indispensable d'étudier chaque opération dans ses détails, par exemple, s'il s'agit de tourner un arbre, d'examiner séparément les temps nécessaires pour amener la pièce, la lever, la fixer sur le plateau, régler les outils, les vitesses, etc. On peut alors voir si le travail se fait normalement ou non, si les anomalies dépendent de l'ouvrier, de la machine ou d'une autre cause, déterminer quel travail convient le mieux à tel ouvrier, ou à telle machine, etc.

Cette étude minutieuse, qui constitue la deuxième méthode de détermination des temps de base, ne peut, évidemment, être confiée qu'à un ingénieur compétent, qui, tout au moins au début, observera lui-même les machines, depuis le commencement jusqu'à la fin des travaux, en notant les éléments, durée, etc., de chaque opération. Le mieux est de prendre ces données sur des cartes et de constituer soit des livres de référence, soit, ce qui semble préférable, des cartes de référence. On arrive ainsi à fixer, avec une approximation très remarquable, une bonne moyenne pour les temps de base de toute opération. (Il s'agit, en effet, d'établir non pas le *meilleur temps*, mais le temps moyen nécessaire.)

Ce travail, variable suivant les cas, est peut-être moins considérable en réalité qu'en apparence; mais, néanmoins, on ne peut penser à le faire que dans des ateliers d'une certaine importance. M. J. Rowan, qui préconise cette méthode, estime que, dans un atelier de 150 machines, trois hommes recueilleront, en deux ou trois mois, toutes les données nécessaires.

Mais cette deuxième méthode est pour ainsi dire *passive* : elle consiste, en principe, à observer le travail des ouvriers, et à en enregistrer les résultats. Le meilleur temps obtenu ainsi, compa-

(1) L'organisation rudimentaire qui suffit à la rigueur dans une industrie peu importante, dont le chef peut tout voir et surveiller par lui-même, devient totalement insuffisante aussitôt que cette industrie s'est développée suffisamment pour qu'il ne puisse plus en embrasser lui-même tous les détails. C'est là la cause principale de nombre d'échecs, souvent inexplicables autrement, éprouvés par des entreprises en voie de développement et qui, primitivement, étaient petites et prospères. C'est, d'ailleurs, dans leur organisation perfectionnée qu'il faut chercher une des principales causes du succès de certaines grandes entreprises étrangères.

rativement, peut encore être très mauvais au point de vue absolu.

Il était donc naturel d'aller plus loin (ce qu'a fait M. Gantt) (1) et de soumettre chaque opération à une étude systématique de la part d'un mécanicien expert qui, en s'aidant de tous les renseignements possibles, fixe l'ordre des opérations, la meilleure manière de les exécuter, la nature, la forme des outils, les vitesses de coupe, etc., et détermine ainsi un temps *minimum*, qui, s'il peut être abaissé dans la suite par l'emploi de procédés meilleurs, est du moins, actuellement, le moindre que puisse employer un très bon ouvrier, dans les meilleures conditions connues. Par contre, on conçoit que l'organisation spéciale nécessaire avec cette troisième méthode, pour l'étude des procédés d'exécution, ne la rende applicable que dans des ateliers importants.

En fait, la démarcation entre la méthode Rowan et celle de M. Gantt est moins tranchée que nous ne l'indiquons, et, avec toutes les deux, l'étude de la détermination des temps de base conduit finalement à l'emploi des meilleurs procédés de fabrication. Par contre, leur application est limitée à des entreprises importantes dont, surtout, l'organisation est suffisamment perfectionnée (2). En effet, on est ainsi, avec ces méthodes, conduit à accumuler une masse de documents. C'est là une première opération : s'y tenir, c'est faire de la paperasserie, sans plus. Utiliser ces documents en est une seconde ; pour l'effectuer, il faut une méthode, une organisation, dont nous ne pouvons que signaler ici la nécessité absolue, comportant en particulier des procédés de classification permettant de retrouver à tout moment, instantanément, le document précis dont on a besoin ; c'est cette nécessité qui limite surtout l'extension des systèmes à primes.

4. — Mesures préparatoires immédiates.

Pour introduire dans un atelier un système à prime, une première méthode, méthode d'autorité, consisterait à ne dire

(1) *A bonus system of rewarding labor*. H. L. Gantt. *Transact. of the American Society of Mechanical Engineers*, 1902, et *Engineering*, 14 février 1902, p. 208.

(2) Il importe de remarquer que ces deux méthodes de détermination des temps de base ne sont pas nouvelles ; elles ont été employées toutes deux depuis longtemps (dans les ateliers de l'artillerie, par exemple), pour la détermination des temps de base des travaux à la tâche. La seule chose qu'on pourrait, jusqu'à un certain point, considérer comme nouvelle, serait leur application systématique combinée avec l'emploi des systèmes à primes.

que ceci aux ouvriers : « Si vous diminuez le temps nécessaire à une production donnée, vous aurez une prime de tant par heure économisée ». Opérer ainsi, c'est admettre qu'il ne faut pas exposer aux ouvriers des combinaisons même simples, de crainte d'embrouiller complètement leurs idées. Cette méthode, peut-être bonne avec des natures encore primitives, aurait sans doute peu de chances de succès dans la plupart des cas. En effet, les ouvriers sont encore souvent imbus de l'idée que leur intérêt et celui du patron sont opposés, que l'un ne peut faire de bénéfices qu'au détriment de l'autre, et que, par suite, tout changement proposé par le patron ne peut que leur être préjudiciable (1). Or, l'idée des salaires à primes, que l'intérêt des deux parties est, en définitive, commun, est diamétralement opposée. Il s'agit donc, ni plus ni moins, d'une mentalité sinon à transformer, du moins à modifier et ce n'est pas peu.

Pour réussir dans ces conditions, il est donc presque indispensable d'agir avec ménagement, et, tout d'abord, de faire comprendre à l'ouvrier les avantages que présente pour lui le système à primes, lui garantir qu'on ne cherchera pas à les lui enlever par des opérations analogues à la diminution des temps de base, (c'est là une condition essentielle); lui montrer que ces temps, (qui doivent être indiqués avant le début du travail), sont tels, qu'en suivant exactement les indications données (par exemple, sous forme de *cartes d'Instruction*, comme dans le système de M. Gantt) il peut gagner des primes sans effort excessif; que, sauf erreur évidente ou changement de procédés, ces temps ne seront pas modifiés (ce qui vaut mieux que de dire qu'ils resteront fixes pendant un temps déterminé).

Le mieux est d'ailleurs de rédiger une notice explicative très détaillée, comme MM. Barr et Stroude ont sans doute été les premiers à le faire (2) (3).

(1) C'est ici la vieille conception qui, admettant implicitement la somme des richesses de la société constante, ne s'occupe que de leur répartition, tandis qu'en réalité elles augmentent constamment.

(2) Cette notice de MM. Barr et Stroude (fabricants de télémètres à Anniesland, près Glasgow) a été reproduite par M. James Rowan, dans sa communication du 20 mars 1903 à la Société des Ingénieurs mécaniciens de Londres, et publiée par cette Société (*A premium system applied to Engineering Works, by James Rowan*; *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, 1903, pp. 203 à 261) avec la discussion fort importante dont elle a été suivie, à laquelle ont pris part nombre d'industriels ayant employé des systèmes à primes. On trouvera dans ce document nombre de renseignements pratiques. Voir également la brochure *The Premium System of paying Wages*, publié par *The Engineer*, 4e édition, 1906.

(3) Les principaux points à indiquer dans une notice de ce genre, qu'il est préférable

Si, malgré toutes ces explications généralement suffisantes, les ouvriers ne sont pas encore absolument convaincus (avant d'essayer ils voudraient voir des résultats et pour cela il faudrait qu'ils essaient), on peut, comme l'ont fait MM. Willians et Robinson, commencer avec quelques ouvriers; quand ils ont gagné des primes, leurs camarades ne demandent plus qu'à en faire autant (1).

Un autre moyen est de laisser les ouvriers libres de travailler ou non suivant le système à prime. En réalité, cette concession apparente est nulle : le salaire horaire minimum étant garanti, le seul risque couru est de gagner une prime.

Peut-être — c'est une hypothèse — une cause de l'opposition aux salaires à prime est-elle que la documentation qu'ils entraînent permet à la direction d'être fixée sur la valeur réelle de tous ses ouvriers?

5. — Contremaitres, chefs d'équipe et inspection.

Négligeant le cas du travail collectif (où l'on peut donner au chef d'équipe une prime spéciale portant sur le total des économies réalisées par son équipe), il faut reconnaître que les contremaîtres peuvent exercer une action plus ou moins grande sur les primes obtenues avec les systèmes individuels. Parfois, on se contente de leur allouer un salaire fixe; il semble pourtant préférable, en leur appliquant le principe même des salaires à primes, de les intéresser aux résultats obtenus, (dans les cas où la détermination des temps de base ne leur est pas confiée), par des primes, par exemple proportionnelles à la moyenne de celles gagnées par leurs ouvriers, avec, éventuellement comme dans

de faire aussi courte et aussi explicite que possible, sont, en plus des garanties de salaire minimum et de fixité des temps de base :

En quoi consiste le système adopté; — mode de calcul de la prime; — détermination des temps de base; (indiquer qu'ils sont comptés depuis le commencement du travail jusqu'au début du travail suivant); — toute prime gagnée pour un travail est acquise, même si les temps de base sont dépassés pour les travaux exécutés avant et après celui considéré; — conditions de paiement des primes (aussitôt que possible); — décompte des primes en cas de travail supplémentaire; — réception des pièces finies; — jugement des contestations (sans appel par la direction), etc.

On peut expliquer aussi pourquoi on adopte le salaire à prime : obtenir plus de commandes en baissant les prix de production; — augmenter les salaires; — en augmentant la production, diminuer l'importance relative des frais généraux, etc.

(1) Opérer ainsi par persuasion et progressivement offre un autre avantage : sur une petite échelle, les tâtonnements inévitables de tout début sont faciles, et on peut ensuite marcher avec certitude. En débutant d'un seul coup, en grand, un accroc imprévu peut compromettre irrémédiablement un succès qui eût été certain avec moins de hâte.

le système Gantt, une prime supplémentaire, si tous leurs ouvriers touchent des primes.

Il va sans dire que le service d'inspection doit être parfaitement organisé, indépendant de la fabrication ; on peut, par exemple, donner aux inspecteurs une prime pour tout défaut signalé, avec des déductions pour tous ceux qu'ils laissent passer. Leur tâche est d'ailleurs grandement facilitée par les jauges limites. (De plus, quand les monteurs et ajusteurs travaillent à prime, ils ne recevraient pas des pièces défectueuses sans protestation). Mais c'est là encore une question d'organisation.

CONCLUSION

Les systèmes à primes donnent, dans des conditions convenables, de bons résultats, mais il ne faudrait pas y voir une panacée universelle : leur application est, en particulier, limitée par la nécessité de la détermination préalable des temps de base (1) ; de plus ils ne peuvent s'employer avec tous leurs avantages que dans des entreprises bien organisées.

D'ailleurs, leurs bons résultats sont dus à deux causes bien distinctes, le stimulant donné à l'ouvrier par la prime, et les améliorations que permet d'apporter à la production la connaissance plus complète des conditions dans lesquelles elle s'effectue, qu'entraîne la détermination des temps de base.

Une part importante des bons résultats constatés est due, en réalité, à cette dernière cause, qui se rattache étroitement à la question de l'organisation industrielle, d'où cette conclusion dernière, que les systèmes à primes, qui constituent un élément non négligeable de succès, doivent être considérés comme un détail, fort important il est vrai, dans l'étude de la bonne organisation d'une entreprise industrielle.

(1) Par contre, l'influence d'une erreur dans la détermination des temps de base étan moindre qu'avec le salaire à la tâche, leur champ d'action est plus étendu.

TABLE DES MATIÈRES

CHRONIQUE

N° 332.

Sommaire. — Les pressions élevées dans les locomotives. — Essai au frein des moteurs hydrauliques. — Le tunnel de Karawanken. — Les chutes du Niagara. — Corrosion des tubes de chaudières dans les navires à turbines. — Appareil enregistreur de la vitesse et de la direction du vent.

Les pressions élevées dans les locomotives. — Le professeur W. F. M. Goss, dont les beaux travaux sont bien connus de nos Collègues, a présenté, il y a quelque temps, au Western Railway Club, à Chicago, un exposé préliminaire des résultats d'une série d'essais faits au laboratoire de mécanique de l'Université de Purdue. Ces essais, faits sous le patronage et avec le concours financier de l'Institut Carnegie, de Washington, avaient pour objet d'étudier l'influence de l'élévation des pressions sur l'effet utile dans les locomotives. Ils ont occupé une période s'étendant du 15 février 1904 au 7 août 1905, soit environ dix-huit mois, et ont été exécutés sur la locomotive du laboratoire de l'Université de Purdue, celle dite Schenectady n° 2.

Cette machine, installée à la fin de 1897, pour remplacer la Schenectady n° 1, est une locomotive à huit roues, dont quatre formant bogie à l'avant et quatre accouplées; elle a actuellement des cylindres de 0,508 m de diamètre réduits à 0,406 m par la présence d'un fourreau intérieur; on peut ainsi la faire fonctionner à volonté avec les deux diamètres de cylindres, de plus on peut installer d'un côté un cylindre de 0,762 m pour transformer la machine en compound, le changement de la selle qui réunit les deux cylindres sous la boite à fumée, permet d'établir sans complication les passages nécessaires entre les boites à tiroirs respectives.

La course des pistons est de 0,610 m, les roues motrices et accouplées ont 1,752 m de diamètre. La surface de grille est de 1,65 m², la surface de chauffe du foyer de 11,75 m², celle des tubes de 111,25 m² et la surface de chauffe totale de 123 m².

La chaudière est construite pour pouvoir fonctionner à une pression maxima de 17 kg. Le poids total en service est de 47 500 kg dont 29 000 sur les essieux moteur et accouplé. Cette machine a été complètement décrite avec dessins dans le numéro du *Railroad Gazette*, du 17 décembre 1897.

L'étude complète comporte une série d'essais effectués aux pressions de 240, 220, 200, 180. 160 et 120 livres par pouce carré, les limites extrêmes dépassant en plus et en moins les pressions employées couramment en service. Pour chaque série, on a fait un nombre assez grand d'essais pour permettre de se rendre bien compte du fonctionnement de la machine aux différentes vitesses et aux différentes introductions et chaque essai a été d'une durée suffisante pour apprécier le rendement du mécanisme et de la chaudière.

Dans toute la durée des essais, le compteur a enregistré un nombre de tours de roues égal à 3113333, correspondant à un parcours de 22656 km. Il y a eu en tout cent essais distincts, dont les résultats seront donnés séparément dans le rapport définitif.

Les recherches dont nous nous occupons ici, ont fait voir très nettement que les difficultés que l'on rencontre en pratique dans le service des locomotives avec des eaux de mauvaise qualité deviennent de plus en plus sérieuses avec l'accroissement de la pression.

Les eaux dont on dispose au laboratoire de Purdue contiennent une forte proportion de magnésie et de carbonate de chaux. Lorsqu'on s'en sert dans une chaudière marchant à une pression assez faible, on n'a aucune difficulté sérieuse à faire complètement disparaître les dépôts. Ainsi le générateur de la première locomotive d'expérience, la Schenectady n° 1, qui ne fonctionnait pas à plus de 140 livres (10 kg) et dont la pression courante de marche était de 9,25 kg, était parfaitement propre après un service de six années consécutives. Pendant cette période, cette chaudière avait eu très rarement besoin de réparations.

On a employé généralement de l'eau de la même provenance dans la chaudière de la seconde locomotive, dont la pression de marche atteignit 17 kg. Cette chaudière, semblable à la première, eut souvent besoin des soins d'un chaudronnier. Après un temps de service correspondant à un parcours de 48000 km, les parois latérales du foyer présentaient des fissures qui produisaient des fuites abondantes et l'impossibilité d'arrêter ces fuites entraina le remplacement des parois. Lorsqu'on marchait à une pression de 17 kg, la température correspondante était assez élevée pour que les sels contenus dans l'eau se déposassent dans la boîte du clapet de retenue et dans le tuyau de refoulement de l'injecteur. Dans ces conditions, il arrivait fréquemment que les injecteurs refusaient tout service et que les essais étaient manqués. De plus, à cette pression, les fuites par les entretoises entrainaient de telles difficultés qu'on dut renoncer à l'eau employée jusque là pour le remplacer par l'eau du retour de chauffage de l'Université, qui était en somme à peu près de l'eau distillée et dont l'emploi permit d'effectuer les essais aux pressions de 17 kg soit 240 livres.

Il est possible qu'une partie des difficultés rencontrées dans ces conditions tint au caractère expérimental de l'installation d'essais et qu'on ne les eut pas éprouvées après une période de préparation graduelle, mais il n'en ressort pas moins clairement que les pressions élevées rendent beaucoup plus difficile et onéreux le maintien en bon état des chaudières alimentées avec de mauvaises eaux. Si on considère que les districts où on trouve des eaux de ce genre sont extrêmement nombreux, on peut se rendre compte de l'importance de l'objection.

Au cours des essais, on n'a pas constaté de difficultés sérieuses dans le graissage des pistons et tiroirs aux pressions de 17 kg, il a fallu toutefois changer les huiles employées avec des pressions inférieures.

Avec les pressions élevées, les fuites qui se produisent accidentellement, soit dans la chaudière, soit dans les cylindres, ont plus d'influence sur le fonctionnement de la machine. On a, dans les essais faits en laboratoire, cherché à prévenir le plus possible ces fuites, mais toute-

fois elles ont quelquefois vicié les résultats et on a du recommencer les essais. Mais, malgré tous les soins, sous les pressions très élevées, il a été impossible de supprimer entièrement cette cause d'erreurs, et tout ce qu'on peut dire, c'est que cette série d'expériences correspond sensiblement à ce qu'on pourrait obtenir dans la pratique dans de semblables conditions de marche.

Pour conclure sur ce point, on peut dire que l'emploi de pressions très élevées nécessite des soins tout particuliers dans l'étude et l'exécution de toutes les parties d'une locomotive et, par suite, une construction beaucoup plus soignée que celle de locomotives fonctionnant à des pressions inférieures.

La variation des pressions agit sur le rendement de la chaudière de la manière suivante :

1° La vaporisation n'est pas très sensiblement affectée par la pression entre les limites de 8,5 et 17 kg;

2° La variation entre ces limites est, en effet, inférieure à 0,200 kg par kilogramme de combustible;

3° La vaporisation en vapeur à 100 degrés, partant d'eau à la même température par kilogramme de combustible, constatée sur la locomotive Schenectady n° 2, employant du charbon de Youghlogheny, pour les diverses pressions entre 120 et 240 livres, soit 8,5 et 17 kg, peut être exprimée par la formule :

$$E = 11,305 - 0,221\ H,$$

dans laquelle E est la vaporisation, et H la quantité de vapeur produite par pied carré de surface de chauffe et par heure. Les résultats obtenus sont exacts à 2 0/0 près.

En mesures métriques, cette expression se traduit par :

$$E = 11,305 - 0,045\ H;$$

4° On peut conclure de ce qui précède, qu'une variation de 3 à 3,5 kg dans la pression n'entraine aucune modification appréciable dans l'effet utile d'une chaudière de locomotive convenablement proportionnée.

Si on examine l'effet des différentes pressions sur la température de la boite à fumée, on trouve que :

1° La température dans la boite à fumée s'est trouvée comprise entre les limites de 310 et 450 degrés centigrades, la plus basse correspondant à une production de vapeur de 20 kg par mètre carré de surface de chauffe et par heure et la plus élevée à une production de 68 kg;

2° La température de la boite à fumée est assez peu affectée par la variation de la pression de la vapeur qu'on peut négliger en pratique de tenir compte de cette variation;

3° Cette température peut s'estimer avec une exactitude très suffisante pour les cas ordinaires de la pratique, par l'expression :

$$T = 488,5 + 25,66\ H,$$

dans laquelle T est la température et H la production par pied carré et par heure de vapeur à 100 degrés provenant d'eau à la même température.

Cette expression correspond en mesures métriques à :

$$T = 253 + 0,29 H.$$

Nous allons examiner maintenant l'influence des pressions sur l'effet utile de la machine proprement dite.

Les résultats des divers essais effectués se traduit par une courbe (1), dans laquelle les ordonnées représentent les pressions et les abscisses les dépenses de vapeur par cheval indiqué et par heure entre les limites de 8,5 et 17 kg pour les pressions.

La différence de consommation correspondant à un écart de 8,5 kg entre les pressions n'est que de 0,35 kg de vapeur par cheval-heure, soit pour une consommation de 12,5 kg une proportion de 2 0/0.

Les chiffres constatés dans les expériences, la machine marchant toujours avec le régulateur entièrement ouvert pour prévenir l'effet des étranglements, ont été représentés par une moyenne pour chaque série et ces moyennes, représentées par un cercle, ont permis de tracer la courbe du diagramme, courbe qui figure d'une manière suffisamment exacte le rendement de la machine aux diverses pressions, c'est-à-dire sa dépense de vapeur par unité de puissance et par heure. Cette dépense résultant des moyennes des résultats obtenus aux diverses pressions, doit être acceptée comme représentant très sensiblement les chiffres qu'on obtiendrait dans la pratique.

Partant de ces dépenses de vapeur, on obtient la consommation correspondante en charbon de Youghlogheny pour les différentes pressions, ainsi qu'il est indiqué dans le tableau ci-dessous, qui donne en même temps la réduction dans la consommation amenée par l'accroissement de la pression.

Pression.	Charbon par cheval-heure.	Économie de charbon pour chaque différence de pression. absolue.	0/0.
—	—	—	—
17,0 kg	1,50 kg	»	»
15,6 —	1,52 —	0,02 kg	1,2
14,0 —	1,54 —	0,02 —	1,5
12,8 —	1,57 —	0,03 —	1,7
11,4 —	1,60 —	0,03 —	2,0
10,0 —	1,66 —	0,06 —	3,8
8,5 —	1,75 —	0,09 —	4,4

On voit, d'après ces chiffres, que l'avantage diminue rapidement, comme on pouvait s'y attendre, pour les pressions élevées. Ainsi, si le passage de 8,5 à 12 kg donne une économie de 4,4 0/0, celui de 15,6 à 17 kg ne donne plus que 1,2 0/0.

Il y a déjà plusieurs années, et nous avons eu occasion d'en parler dans la Chronique de novembre 1898, page 444, qu'on s'est demandé si on ne pourrait pas remplacer avantageusement l'élévation de la pression de marche dans les locomotives par une augmentation des éléments de la production de la puissance dans la chaudière. Ainsi, dans la cons-

(1) Nous croyons superflu de reproduire le diagramme que remplace suffisamment le tableau donné plus loin.

truction d'un nouveau générateur, la quantité de métal correspondant à la résistance nécessaire pour supporter un accroissement donné de pression ne pourrait-elle être employée à fournir une augmentation de la surface de grille et de chauffe de la chaudière? On possède les éléments nécessaires pour étudier cette question et se faire une opinion à ce sujet.

Si on part de pressions relativement basses, on trouve sans le moindre doute un avantage très réel dans l'augmentation de la pression, mais à mesure que celle-ci s'accroit le bénéfice devient de plus en plus faible, comme on l'a vu par ce qui précède. A 12,5 kg par centimètre carré, il n'y a plus guère d'avantage et au-dessus il est incontestablement préférable de renoncer à accroitre les pressions et à recourir à une augmentation des éléments de production de la chaudière. *(A suivre.)*

Essai au frein des moteurs hydrauliques. — Les essais dynamométriques des moteurs hydrauliques de toute dimension présentent un grand intérêt et ont contribué dans une large mesure aux perfectionnements qu'ont reçus ces moteurs. Leur influence a été réelle sur le développement de la turbine moderne à haut rendement. Il ne suffit pas qu'un moteur ait donné de bons résultats aux essais de réception, il faut que ces résultats soient permanents et qu'en cas de dérangement on puisse en rechercher facilement les causes.

D'autre part, les moteurs hydrauliques ont atteint depuis quelques années des puissances auxquelles on n'aurait pas osé penser à une époque encore rapprochée et on a dû rechercher des moyens d'estimer le travail énorme développé par certains. Le dynamomètre ou frein d'absorption d'Alder a été imaginé pour remplir cet objet.

Le principe en est très simple, c'est une sorte de frein de Prony formé de plusieurs disques en fonte polie calés sur l'arbre qui transmet le travail du moteur. Une enveloppe métallique fixe porte sur les bords des disques et des plaques circulaires en cuivre mince, fixées à leur périphérie à l'enveloppe, sont en contact avec les faces planes des disques. Les espaces annulaires compris entre chaque unité formée d'un disque et d'une plaque de cuivre reçoit, par un tuyautage approprié, de l'eau sous pression qui presse fortement la plaque contre le disque et crée un frottement considérable entre les deux, tandis que la présence de cette eau s'oppose à l'échauffement du métal. En outre, le frottement est réduit par l'envoi d'huile entre les surfaces en contact, de manière à ce que ces surfaces ne puissent pas s'altérer, ce qui serait le cas si elles frottaient à sec sous une très forte pression. Cette huile, refoulée par une pompe, pénètre à la circonférence de l'enveloppe et se répand dans des rainures pratiquées dans les faces des disques en fonte. L'appareil présente ainsi une certaine ressemblance avec un embrayage à friction. La résistance au mouvement de rotation créée par le frottement est mesurée par une balance.

La rotation de l'arbre qui porte les disques tend, en effet, par le frottement, a faire tourner l'enveloppe, mais celle-ci est retenue par un arrêt butant d'un côté et de l'autre contre le levier de la balance, ce levier a son axe en forme de couteau pour plus de sensibilité. Il y a deux échelles,

l'une indique 1 ch par 0,453 kg de poids par 100 tours par minute et l'autre 1 ch pour 4,53 kg pour la même vitesse.

Le plus puissant dynamomètre qui ait été construit jusqu'ici sur ce modèle comprend quatre disques de 1,52 m de diamètre et peut absorber un travail de 1 500 ch à 100 tours par minute ou 3000 ch à 200 tours. La capacité de l'appareil est limitée par la quantité de chaleur qui peut traverser les plaques de cuivre ; cette quantité est influencée par la différence de température et par la quantité d'eau qui circule. La nature du graissage joue également un rôle. Il suffit de matières grasses de faible valeur, mais il est nécessaire de recourir à la lubréfaction sous pression si on veut obtenir une marche régulière.

Le dynamomètre dont nous parlons a été employé récemment à mesurer un travail de 2 000 à 2 300 ch développé par une paire de turbines pendant un essai de huit heures de durée consécutive. Cette durée considérable est due à la position du déversoir servant au jaugeage, position à cause de laquelle un certain temps était nécessaire pour rendre constantes les conditions de l'opération. Le barrage avait 22 m de longueur avec contraction aux extrémités. Pendant les essais, les vannes des turbines étant entièrement ouvertes, l'eau absorbée par les moteurs amenait la formation d'une nappe de 0,61 m sur la crête de barrage.

Le travail le plus considérable mesuré par ce dynamomètre a été de 4 100 ch développés par une paire de turbines marchant sous une chute de 33,50 m à la vitesse de 225 tours par minute et actionnant une usine à pâte de bois. Cette usine comportait six broyeurs de chaque côté des moteurs, soit douze en tout. On enleva deux des meules à défibrer, celles qui étaient les plus près des turbines et on les remplaça par deux dynamomètres. On put ainsi mesurer un travail de 4 000 ch. Il est à remarquer que, dans ce genre d'usines, il est très difficile de connaître la puissance nécessaire ; elle varie beaucoup suivant la nature des meules, celle du bois, etc.

On a fait divers essais pour de grandes forces dans des stations hydroélectriques ; dans ce cas, on enlève les génératrices d'électricité et on y substitue le dynamomètre monté directement sur l'arbre. Pour donner une idée des indications qu'on peut obtenir d'essais de ce genre, nous citerons le fait suivant : on constata que les turbines donnaient la puissance prévue dans le marché, mais que, si on les avant fait tourner à 200 tours par minute au lieu de 225 vitesse actuelle, le travail produit aurait été augmenté dans le rapport de 2 000 à 2 300 ch ; la trop grande vitesse faisait ainsi perdre 300 ch.

Dans une autre expérience, on trouve que la vitesse était tellement grande que, si on supprimait la charge entière, les turbines ne tournaient pas sensiblement plus vite, leur résistance propre faisant frein ; le rendement ne dépassait pas 30 0/0 au lieu de 70 0/0 prévu dans le contrat.

Les essais de ce genre sont très utiles pour permettre de reconnaître si les moteurs sont non seulement bien étudiés et construits, mais encore bien montés, car des défauts peu sensibles de montage peuvent avoir une très notable influence sur le rendement. On est donc actuellement en possession de moyens pratiques et simples de déterminer la

puissance développée par les plus grands moteurs hydrauliques. Le principe du dynamomètre étant admis, il suffit de proportionner le nombre et le diamètre des disques suivant le travail à absorber. Nous avons résumé ce qui précède d'un article de l'*Engineering Record*, du 9 février 1907.

Nous devons dire qu'un dynamomètre d'absorption qui offre une certaine analogie avec celui qui a été décrit plus haut vient d'être réalisé par la maison Peter Brotherhood, de Londres. Le principe est toujours d'absorber le travail à mesurer par le frottement produit sur des disques métalliques fixés à l'arbre tournant, mais la manière dont ce frottement est produit n'est pas la même dans les deux appareils.

Dans le dynamomètre Brotherhood, des disques sont fixés à l'arbre et d'autres disques placés entre les premiers tiennent à la boite, mais il n'y a pas contact entre les uns et les autres. La boite est remplie d'eau sous pression qui opère le frottement contre les disques tournant. La boite n'est remplie d'eau qu'en partie de sorte que, lorsque le dynamomètre fonctionne, l'eau est chassée à la circonférence par la force centrifuge et c'est là que le frottement s'exerce de la manière la plus utile à cause de la plus grande vitesse des disques à cette partie. La quantité d'eau admise se règle automatiquement. On règle le nombre des disques selon la puissance à mesurer. L'axe tourne sur des galets pour rendre l'appareil plus sensible. Avec trois disques tournant d'un diamètre de 0,70 m de diamètre environ, avec des vitesses de rotation de 300 à 1.200 tours par minute, on peut absorber une puissance de 12 à 50 ch.

Ce genre de frein est très commode pour la mesure de travail des moteurs à explosion, mais il se prête aussi à l'essai des machines motrices de tout genre.

Le tunnel de Karawanken. — Le 30 septembre 1906, a été inauguré le chemin de fer de Karawanken, dernier tronçon d'une nouvelle voie de communication établie entre Trieste et la partie autrichienne des Alpes septentrionales et qui est appelée à contribuer au développement économique de cette contrée.

Ce chemin de fer traverse, entre Rosenbach et Usling, un tunnel de 8 km de longueur, creusé au travers de couches géologiques d'une nature généralement ébouleuse et maçonné dans toute son étendue.

Le mode d'exécution suivi pour mener à bonne fin cet important travail est décrit en détail dans l'*Oesterreichische Wochenschrift für den öffentlichen Baudienst*, du 29 septembre 1906; il est intéressant de faire connaître les particularités qu'il présente ; celles-ci ont permis d'activer les travaux d'une façon remarquable et de les achever dans un temps relativement court ; commencé en juin 1902 le tunnel fut en effet complètement terminé en novembre 1905.

Le tunnel a été établi d'après la méthode anglaise, avec une variante déjà introduite lors du percement du tunnel de l'Arlberg. Cette variante consiste à grouper les chantiers de travail d'une manière spéciale à l'intérieur du souterrain et à y échelonner, en des points déterminés, un certain nombre d'équipes d'ouvriers mineurs et maçons, travaillant simultanément, les uns aux déblais, les autres aux revêtements en

maçonnerie des tronçons distincts ou « anneaux » de tunnel qui leur sont assignés d'après une répartition fixée d'avance et se déplaçant dans un même ordre au fur et à mesure de l'avancement des travaux.

Au tunnel de Karawanken, la distribution des équipes était telle que la section en activité s'étendait en temps normal sur 1.000 m environ de longueur; les travaux d'excavation et de maçonnerie y furent exécutés simultanément. Les déblais ont commencé par l'excavation d'une galerie d'attaque à la base du profil et par le creusement de distance en distance de cheminées latérales qui permirent d'attaquer simultanément les déblais au sommet du profil et d'ouvrir la galerie supérieure. Lorsque cette dernière galerie fut suffisamment avancée, elle fut partagée en parties égales correspondant à des « anneaux » de tunnel de 8,50 m de longueur et comprenant une succession d'anneaux de catégorie A, de de catégorie B et de catégorie C. Les travaux de terrassement furent alors repris simultanément dans les anneaux de catégorie A par diverses équipes d'ouvriers mineurs et la section du tunnel entièrement déblayée dans ces parties sur 8,60 m de longueur en descendant à partir de la galerie supérieure jusqu'au niveau de la galerie inférieure. Le travail de déblai et d'étançonnage se fait en deux étapes et, lorsqu'il est achevé, ou dit en langage de mineur, que l'anneau est sur bois. Les anneaux A étaient supportés par quatre fermes en charpente.

Les équipes de mineurs se reportèrent alors en avant pour attaquer d'autres anneaux de catégorie A et pour livrer les anneaux A sur bois aux ouvriers maçons; le revêtement en maçonnerie de ces tronçons fut effectué seulement sur 8 m de longueur, c'est-à-dire sur une longueur plus réduite que celle de 8,60 m correspondant aux déblais, afin d'utiliser pour les anneaux B contigues aux anneaux A les fermes extérieures de ces derniers. L'on entreprit ensuite, avec de nouvelles équipes et simultanément, les travaux de déblai, puis les travaux de revêtement des anneaux de catégorie B. Il fut procédé finalement de la même manière pour les tronçons C compris entre les anneaux de catégorie B. On eut donc soin de n'exécuter les travaux dans les divers tronçons qu'après complet achèvement des anneaux voisins, afin de ne pas mettre en même temps à découvert, dans des terrains ébouleux, une trop grande longueur de tunnel; ce dernier se trouvait ainsi complètement terminé, après revêtement des tronçons C, sur un développement correspondant à la série des anneaux des trois catégories A, B, C, pour laquelle le travail avait été entamé en même temps.

La méthode d'exécution esquissée ci-dessus se prête particulièrement à la construction rapide des tunnels ; elle a été appliquée sur une grande échelle en Autriche et pourrait, à juste titre, dit la *Oesterreichische Wochenschrift*, être appelée la *méthode autrichienne moderne*. La rapidité de l'exécution est en rapport avec le nombre des équipes mises en action pour attaquer simultanément les travaux en des points différents; ce nombre dépend de l'avancement journalier que l'on désire réaliser.

Pour le tunnel de Karawanken, le cahier des charges imposait l'achèvement complet et journalier de 3,90 m de longueur de souterrain.

Les prévisions faites au sujet des couches géologiques que l'on devait traverser, permettaient de compter sur 45 et 18 journées de travail pour

effectuer les déblais et le revêtement en maçonnerie des anneaux d'attaque A, puis successivement 37 et 16 journées et 29 et 15 journées de travail pour effectuer les mêmes travaux dans les anneaux B adjoints aux anneaux A et dans les anneaux de jonction C, compris entre les anneaux B. Conformément à ce programme, les travaux en activité s'étendaient simultanément en temps normal, au déblai de sept anneaux dans la section I du tunnel, au revêtement des quatre anneaux d'attaque dans la section II, au déblai de douze anneaux de catégorie B touchant dans la section III aux anneaux d'attaque déjà maçonnés, au revêtement des six anneaux de catégorie B dans la section IV, au déblai de cinq anneaux de jonction C dans la section V, et, enfin, au revêtement des anneaux I à III de cette dernière catégorie dans la section VI de développement considéré.

Les chantiers étaient donc répartis sur un parcours correspondant à 120 anneaux de 8,30 m, c'est-à-dire sur 1 000 m environ de développement. Il va de soi que cette distribution du travail n'a pas toujours pu être fidèlement suivie; l'avancement journalier a varié tantôt en plus, tantôt en moins, suivant la nature des terrains traversés et suivant les difficultés rencontrées. Cet avancement a été en moyenne de 1,69 m en en 1902, de 4,48 m en 1903, de 5,84 m en 1904 et de 2,10 m en 1905. Ce qui précède est reproduit des *Annales des Travaux publics de Belgique*, premier fascicule de 1907.

Les chutes du Niagara. — L'avenir des chutes du Niagara, en présence du développement incessant de l'industrie électrique, est devenu une question nationale aux États-Unis. Si leur existence même n'est pas compromise, les emprunts successifs faits à la masse d'eau supérieure peuvent finalement amener une modification très notable de la chute aux dépens du magnifique spectacle qu'elle présente encore actuellement.

Il s'est donc engagé aux États-Unis des polémiques très vives entre ceux qui, au nom de l'esthétique, déclarent le Niagara inviolable et ceux qui, se basant sur un point de vue utilitaire, le considèrent comme une source de richesses qu'on ne saurait laisser inactive.

La revue *Outlook* (la Prévoyance) examine le pour et le contre avec de grands développements. Nous nous bornerons à résumer le côté pratique, qui expose des considérations techniques et économiques curieuses. Tout le monde comprend, d'ailleurs, le point de vue esthétique sans qu'il soit besoin d'insister sur ce sujet.

Il est très naturel de considérer les chutes du Niagara sous le rapport sentimental et pittoresque, car c'est la seule manière dont on les ait considérées avant qu'on ait cherché à les utiliser comme une grande source de richesses pour la nation et les protestations qui se sont élevées contre leur utilisation ont été soulevées principalement par la supposition erronée que leur emploi industriel n'a profité qu'aux capitalistes qui ont inauguré cet emploi.

Il est bon de rétablir les choses comme elles doivent l'être. L'utilisation des chutes du Niagara n'est pas un acte de vandalisme, ce n'est pas un exemple du monopole mis sur une propriétété publique au

profit de quelques-uns, c'est, si on peut s'exprimer ainsi, une conséquence logique de la loi de l'offre et de la demande.

Les prairies de l'Ouest ont été transformées en champs de blé, non pour enrichir les fermiers, mais parce que le pays avait besoin de blé pour se développer. Dans certaines contrées, les forêts ont disparu, non au profit exclusif des marchands de bois, mais parce que l'industrie avait un besoin impérieux de cette matière première. Il en est de même pour le Niagara; on détourne ses eaux pour produire de la force motrice parce qu'il y a une demande incessante de cette force motrice à bon marché pour le développement économique et industriel du pays.

Peu d'entre ceux qui protestent contre cette utilisation se rendent compte de l'importance économique qu'elle présente. Les considérations suivantes les mettent en lumière.

L'énergie totale qu'on peut retirer des chutes, si on les utilisait entièrement, s'élève à 3,5 millions de chevaux. Pour produire d'une manière continue un cheval pendant un an avec une machine à vapeur, il faut dépenser environ 13 t de charbon, ce qui, pour 3,5 millions de chevaux fait 50 millions de tonnes de charbon par an.

D'autre part, la production de l'électricité par moteur à vapeur peut être estimée à 250 f par cheval et par an y compris l'intérêt et l'amortissement du capital. Or au Niagara on vend la puissance électrique à raison de 75 f par cheval et par an, soit 175 f de moins qu'avec la vapeur. L'utilisation complète des chutes produirait donc pour le pays une économie totale de 165 × 3500000 = 612500000 f par an, et une économie de 50 millions de tonnes de charbon. Ces chiffres représentent le coût du spectacle offert par la cataracte; d'autre part, ils ne représentent que l'économie directe, il faut y ajouter le bénéfice donné par le développement industriel et commercial correspondant à l'augmentation de la puissance. On peut se figurer le coût esthétique des chutes en supposant un immense brasier où brûleraient par an 50 millions de tonnes de charbon; ce serait certainement un spectacle des plus impressionnants et un des plus beaux qu'on puisse voir, on viendrait l'admirer de tous les points du globe, mais les efforts qu'on ferait pour éteindre cet incendie et arrêter un pareil gaspillage de combustible seraient certainement justifiés.

Comme nous l'avons dit, ceux qui ont risqué leurs capitaux dans le développement de la puissance empruntée au Niagara, ne sont pas les seuls à en retirer des bénéfices: il faut surtout compter les industries qui ont pu s'établir à la faveur de cette création de force motrice et les masses qui peuvent se procurer à meilleur marché des produits fabriqués dans des conditions plus économiques.

L'industrie chimique qui a, pour ainsi dire, pris naissance avec l'utilisation du Niagara, a déjà acquis un énorme développement. On a déjà la production du carborandum, celle du carbure de calcium et toutes les applications de l'acétylène qui en dépendent, la fabrication du graphite et de l'émeri artificiels qui viennent remplacer des produits naturels dont les dépôts s'épuisent rapidement, la fabrication de la soude et de la potasse et, en tête de tous, la production de l'aluminium. Toutes ces industries et d'autres encore dépendent entièrement de la puissance du

Niagara. On pourrait ajouter le traitement électrique des minerais de fer auquel on ne saurait guère songer sans pouvoir compter sur cette source de force.

L'industrie de l'aluminium est entièrement basée sur l'emploi du courant électrique, on peut dire que le prix de ce métal est proportionnel au coût de l'électricité. Ses applications se développent avec une rapidité extraordinaire et exigent un développement correspondant de la production d'électricité. Si on considère que les minerais dont on l'extrait forment une des parties les plus importantes de l'écorce du globe, et sont infiniment plus répandus dans la nature que les minerais de fer, on doit en conclure qu'il peut arriver à prendre rang comme importance à côté de ce métal. On peut juger, par ce qui précède, des immenses intérêts qui militent en faveur de l'utilisation de la puissance du Niagara.

L'auteur, après avoir établi la légitimité de ces vues utilitaires, s'empresse d'ajouter qu'il ne saurait être question, quant à présent, de dépasser les droits consentis aux diverses Compagnies par leurs actes de concession. Si ces Compagnies utilisaient ces droits en totalité, il ne serait encore prélevé que 35 0/0 de l'énergie disponible des chutes. Il ne semble pas que cette proportion puisse modifier d'une manière appréciable l'aspect de la cataracte. En effet, l'œil juge cet aspect par deux éléments, la chute et la largeur, et ces deux éléments ne se trouveraient pas modifiés, seule l'épaisseur de la nappe se trouverait réduite sans qu'il en résulte d'effet appréciable à la vue. D'ailleurs l'ensemble du paysage ne serait pas atteint, pas plus que les Rapides qui, étant en aval, ne perdraient pas une goute d'eau et on sait que pour beaucoup de gens, ils ne le cèdent en rien aux chutes comme beauté et comme intérêt.

Corrosion des tubes de chaudières dans des navires à turbines. — M. Edward Palmer, commandant en retraite de la marine des Etats-Unis a fait, à l'*American Society of Naval Engineers*, une communication sur des faits de corrosion de tubes de chaudières, constatés sur un navire mu par des turbines. Voici ces faits, qui ont été communiqués à l'auteur par la Shelby Tube Company, de Pittsburg, qui avait fabriqué ces tubes.

Le yacht à vapeur *Tarentula* avait reçu, à l'origine, des turbines Parsons et des chaudières Yarrow. Comme ces dernières ne fournissaient pas assez de vapeur, elles furent remplacées en 1904 et 1905 par des chaudières Mosher d'une plus grande puissance, et supportant une pression plus élevée, 19 à 20 kg par centimètre carré. Ces chaudières avaient des tubes en acier, sans soudure, de système Shelby n° 14 et n° 16; les cinq premières rangées les plus près du feu étant du numéro le plus fort.

Au bout de deux mois de service, on constata que les tubes montraient des traces de piqûre et que quelques-uns fuyaient. Les fabricants les firent examiner avec attention pour tâcher de reconnaitre la cause de cette corrosion inattendue.

Au bout de quatre mois de service, quatre tubes étaient hors de ser-

vice dans la chaudière avant et vingt-et-un dans la chaudière arrière, tous du n° 16, c'est-à-dire les moins exposés.

Le propriétaire du yacht ayant décidé de remplacer les tubes, profita de l'occasion pour examiner l'intérieur de quelques-uns qui étaient encore en état. On trouva une très grande irrégularité; certains tubes étaient à peu près intacts, d'autres étaient piqués surtout près des extrémités, d'autres, enfin, dans toute la longueur. On prit des échantillons des tubes intacts et des tubes attaqués et on fit l'analyse du métal. Voici les résultats de cette analyse qui montre une composition à peu près identique pour les deux chaudières.

	Soufre.	Phosphore.	Manganèse.	Carbone.
Chaudière avant.				
Tube intact . . .	0,035	0,008	0,41	0,14
Tube attaqué . .	0,026	0,007	0,40	0,15
Chaudière arrière.				
Tube intact . . .	0,031	0,007	0,50	0,15
Tube attaqué . .	0,031	0,005	0,41	0,16

On remarqua qu'un dépôt de couleur brunâtre se trouvait dans les parties piquées des tubes recouvrant ces piqûres. On fit l'analyse de ce dépôt et on constata qu'il contenait invariablement du cuivre, alors que les dépôts qu'on trouvait sur les tubes non attaqués n'en contenaient aucune trace.

Voici les résultats donnés pour l'analyse de ces dépôts :

	Chaudière arrière.	Chaudière avant.
Fer.	51,20	58,06
Cuivre	1,24	0,39
Zinc	aucune trace	aucune trace

Le cuivre, même en présence d'une eau relativement bonne, agit en produisant un courant galvanique lorsqu'il est en contact avec le fer et ce courant attaque ce dernier métal en le piquant.

Ce fait admis, il restait à trouver d'où pouvait provenir ce cuivre qui se trouvait dans les tubes des chaudières. Après des recherches très minutieuses, on arriva à la conviction que ce cuivre venait des aubages des turbines lesquels étaient faits d'un bronze très riche en cuivre. Ces aubages étaient corrodés par la vapeur qui les heurtait avec une grande vitesse et le cuivre entrant dans la composition de ces pièces, était, peut-être avec l'intervention de quelque substance acide, transporté dans les condenseurs, d'où il arrivait dans les tubes des chaudières et s'y accumulait.

Appareil enregistreur de la vitesse et de la direction du vent. — Notre Collègue, M. H. Joanneton, dont nous avons décrit précédemment (Chronique de février 1904, page 249) l'ingénieuse horloge à cadran linéaire vertical, a étudié un appareil destiné à l'enregis-

trement de la vitesse et de la direction du vent d'une disposition originale qu'il nous paraît intéressant de faire connaître, au moins sommairement.

La partie essentielle est un cadre en bois de 0,60 m de largeur sur 0,30 m de hauteur. Ce cadre, placé verticalement, peut tourner autour d'une tige verticale au moyen d'une douille en cuivre. Une queue ou gouvernail, perpendiculaire au plan du cadre, oblige celui-ci à se placer normalement à la direction du vent.

Le cadre contient dix palettes verticales de 50 mm de largeur sur 0,20 m de hauteur, ayant par conséquent une surface de 1 décimètre carré. Ces palettes peuvent osciller librement autour d'un axe horizontal et portent à la partie supérieure un renvoi de mouvement par lequel l'inclinaison des palettes se transmet à un arbre horizontal qui peut tourner d'un angle proportionnel à cette inclinaison.

Sans entrer dans des détails qui seraient difficilement compréhensibles sans le secours de figures, il nous suffira d'indiquer que les palettes ne peuvent s'incliner que les unes après les autres, et que le nombre des palettes inclinées se trouve en rapport avec la pression du vent.

L'arbre dont il a été question ci-dessus porte en son milieu un fil qui se charge à sa partie inférieure de disques de diamètres différents placés dans un cône creux ayant la pointe en bas. On conçoit que l'inclinaison de la première palette fait soulever le premier disque pesant, par exemple, 10 gr et l'inclinaison de la dernière palette fera soulever les dix disques pesant de 10 à 100 gr, soit, en tout, 480 gr pour 1 décimètre carré de surface, ce qui fait 48 kg par mètre carré correspondant à une vitesse de vent de 75 km à l'heure.

L'enregistrement des pressions se fait très simplement; si on suppose que le fil vertical porte en un point un crayon placé dans une direction perpendiculaire, ce crayon montant ou descendant suivant la pression du vent tracera, sur un papier enroulé sur un cylindre tournant, une courbe représentant la variation des pressions proportionnellement au temps. On conçoit qu'une disposition analogue pourrait être employée pour enregistrer les directions du vent.

M. Joanneton a réalisé sommairement l'appareil dont nous venons de donner une idée et l'expérience lui a indiqué diverses améliorations dans les détails au moyen desquelles il pourra arriver à construire un appareil enregistreur simple et pratique.

COMPTES RENDUS

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES

1re livraison de 1907.

Congrès international de navigation intérieure tenu à Milan en 1905. — Rapport des délégués français sur les travaux du Congrès.

Nous nous bornerons à indiquer ici les titres des questions traitées dans ces rapports :

Première question. — Amélioration de l'embouchure des fleuves débouchant dans les mers sans marée. Compte rendu par M. Bourguignon, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées.

Deuxième question. — Progrès dans les moyens de propulsion des navires. Conséquences au point de vue des chenaux et des ports. Compte rendu par M. Ducrocq, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées.

Troisième question. — Exposé des divers modes d'exploitation et d'administration des ports maritimes. Leur influence sur le développement du trafic. Compte rendu par M. Joly, Inspecteur général des Ponts et Chaussées en retraite.

Quatrième question. — Construction des môles extérieurs des ports en ayant égard à la puissance des lames auxquelles ils doivent résister. Évolution de cette puissance. Compte rendu par M. G. de Joly, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Notice sur **l'exécution des travaux du siphon de Suresnes**, par M. Caldaguès, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Le siphon établi sous la Seine, un peu à l'amont de l'écluse de Suresnes, a pour objet de réunir les eaux du collecteur de rive droite à celles du collecteur de rive gauche pour les conduire à une usine élévatoire établie près de cette écluse; cette usine relève ces eaux de quelques mètres pour les rejeter dans un nouveau collecteur latéral à la Seine entre Suresnes et une seconde usine élévatoire située près du pont de la Jatte à Courbevoie. Cette seconde usine centralise les eaux d'égout et les élève à une hauteur de 13 m d'où elles descendent, par la gravité, à l'usine de la Ville de Paris, à Colombes, pour être soit employées à l'épandage, soit épurées sur des champs d'épuration bactérienne.

Le siphon proprement dit se compose de deux tubes de 0,60 m de diamètre, de 220 m de développement dont 164,33 m immergés dans le lit de la Seine. Le profil en long est formé d'une partie horizontale de 130 m placée au fond du fleuve et raccordée par des coudes de 4 m de rayon avec des branches inclinées placées sous les berges. La partie horizontale dont il vient d'être question, ne devant faire aucune saillie sur le fond du fleuve est placée dans une fouille pratiquée à cet effet.

Les tubes sont construits en tôle d'acier de 13 mm d'épaisseur par bouts de 10 m ; les joints sont faits avec couvre-joints extérieurs et rivets à tête fraisée à l'intérieur. Les bouts de tuyaux ont été essayés à 9 kg à la pression hydraulique.

On a ensuite assemblé les treize tronçons formant un tube plus deux tronçons représentant les parties inférieures des côtés inclinés et les deux tubes ont été réunis par des entretoises transversales. La masse à lancer ainsi constituée, de 138 m de longueur, pesait 67 t. On l'a fait glisser sur la rive droite sur des longrines ou bascules surplombant le fleuve et susceptibles de prendre une inclinaison telle que le glissement puisse s'effectuer. Les conduites étaient vides, de manière à pouvoir flotter.

On profita du chômage annuel pour opérer l'échouage sans gêner la navigation; il a fallu lester les tuyaux pour pouvoir les immerger; on s'est servi de vieux rails, et on a rempli en même temps les tuyaux d'eau. Une fois le siphon immergé dans la fouille, on a coulé du béton dans celle-ci ; il en a fallu 790 m³.

Le montage du siphon sur berge a été achevé au commencement de juin 1903, le lançage a été effectué le 23 et l'échouage le 6 juillet ; les travaux, terminés à la fin d'août 1903, ont donc duré quatre mois et demi.

Les dépenses se sont élevées, en totalité, à 227 000 f dont 100 000 f pour la partie centrale échouée dans le lit de la Seine. Le prix ressort à 598 f par mètre courant, prix très inférieur à ceux des autres siphons immergés dans Paris et aux environs.

Note concernant les principaux travaux concernant **le coup de bélier**, par M. Goupil, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées.

Le coup de bélier est, comme on sait, le phénomène provoqué par l'arrêt plus ou moins brusque d'une colonne d'eau en mouvement dans une conduite. L'étude de ce phénomène a fait, depuis cinquante ans, l'objet d'une foule de travaux et elle a pris, dans ces derniers temps, un intérêt particulier à raison de l'importance des conduites hydrauliques desservant des usines productrices d'électricité.

Le présent travail a pour objet de passer en revue les études faites sur le coup de bélier en commençant par le travail du général Menabrea qui date de 1858 et il s'occupe particulièrement des recherches récentes du professeur Joukovsky, de l'Université et de l'Institut technique de Moscou.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS

N° 24. — *15 juin 1907.*

Nouvelles machines élévatoires de la distribution d'eau de Hambourg, par R. Schröder.

Le pont-route sur le Rhin, entre Ruhrort et Homberg, par W. Dietz *(suite)*.

Les machines motrices à l'Exposition germano-bohême, à Reichenberg, par K. Körner *(fin)*.

Échantillons normaux de fers pour la construction des navires de commerce en Allemagne et en Angleterre, par C. Kielhorn.

Groupe de Chemnitz. — Tissus en papier.

Groupe de Franconie et du Haut Palatinat. — Création d'un Technicum à Nuremberg.

Groupe de Hambourg. — Appareil de Frahm pour mesurer les vitesses et les fréquences.

Groupe de Lausitz. — Questions de propriété en ce qui concerne les machines.

Bibliographie. — Manuel de construction des pièces constituant les machines, par von Grove. — Manuel d'électrotechnique générale, par K. Zickler. — Théorie et pratique de la construction des chemins de fer, par L. Troske.

Revue. — Inauguration des nouvelles constructions de l'Académie royale des Mines à Clausthal. — Vapeur à dos de tortue construit par William Doxford et fils. — Statistique des automobiles dans l'Empire allemand au 1er janvier 1907. — La 5000e locomotive construite par la Société Hanovrienne, précédemment Georg Egertorff. — Exposition des inventions relatives à la petite industrie à Berlin en 1907.

N° 25. — *22 juin 1907.*

Introduction de la traction électrique sur le chemin de fer métropolitain, le chemin de ceinture, et les lignes de banlieue à Berlin, par W. Reichel.

Un aperçu sur le musée allemand, à Münich, par C. Matschoss.

Développement de la construction des bateaux à moteurs, particulièrement au point de vue de l'emploi de ces bateaux dans la marine de guerre, par W. Kaemmerer.

Nouvelles machines élévatoires de la distribution d'eau de Hambourg, par R. Schröder *(suite)*.

Construction des corps de pompes à haute pression, par Ilgen.

Groupe de Cologne. — Développement des moteurs à combustion intérieure.

Groupe de Manheim. — Spécialisation dans la construction des machines.

Bibliographie. — Transformateurs et moteurs asynchrones, par W. Winkelmann. — Énergie des courants tournants dans les freins électriques et les machines dynamos, par R. Rudenberg. — Développement de la navigation aérienne, par A. Hildebrandt.

Revue. — Voiture automotrice à accumulateurs des chemins de fer de l'État prussien. — Presse-étoupes des arbres des turbines Parsons.

N° 26. — *29 juin 1907.*

Nouvelles turbines à grande vitesse, par V. Graf et D. Thoma.

Introduction de la traction électrique sur le chemin de fer métropolitain, le chemin de fer de ceinture et les lignes de banlieue à Berlin, par W. Reichel *(suite)*.

Résistance à la traction du béton avec ou sans addition de fer, par C. Bach.

Groupe d'Alsace-Lorraine. — Les forces hydrauliques dans les Vosges.

Assemblée générale de l'Association des Métallurgistes allemands à Dusseldorf, le 12 mai 1907.

Revue. — Les installations mécaniques de la construction monstre de la Metropolitan Life Insurance Company, à New-York. — Diverses usines hydroélectriques. — Le chemin de fer du Lötschberg. — Automotrices pour chemins de fer en Italie. — Procédé Gayley pour la dessication de l'air alimentant les hauts fourneaux.

N° 27. — *6 juillet 1907.*

La propulsion des locomotives, par J. Jahn.

Nouveaux hauts fourneaux de la Lackawanna Steel Company, par F. Frölich.

Introduction de la traction électrique sur le chemin de fer métropolitain, le chemin de fer de ceinture et les lignes de banlieue à Berlin, par W. Reichel *(fin)*.

Exposition internationale de l'automobilisme à Berlin en 1906, par A. Heller *(fin)*.

Groupe de Dresde. — Le froid artificiel, les moyens de le réaliser et ses applications.

Groupe de Hambourg. — Le matériel naval de la ligne Hambourgeoise-Américaine et une mission dans le Nord à bord du *Victoria-Luise.*

Bibliographie. — L'art de couper les métaux, par F. W. Taylor.

Revue. — Traction souterraine avec des locomotives à benzol. — Locomotives-tender 1/3 des chemins de fer de l'État autrichien. — Explosion à la mine Reden, à Saarbruck. — Navire à turbine en construction aux ateliers de Saint-Nazaire. — Traction électrique par courant monophasé sur la ligne Parme-Fornovo. — Chemin de fer électrique sur la Grande-Scheidegg.

Pour la Chronique et les Comptes rendus :

A. Mallet.

BIBLIOGRAPHIE

VIe SECTION

Le tome II du **Cours d'exploitation des Mines**(1) de M. HATON DE LA GOUPILLIÈRE, revisé et mis au point par M. BÈS DE BERC, vient de voir le jour avec le qualificatif habituel, mais fort approprié dans la circonstance, de « considérablement augmenté ».

Des développements très importants ont, en effet, été introduits dans la troisième édition de l'œuvre magistrale de l'éminent Directeur honoraire de l'Ecole Supérieure des Mines, additions rendues nécessaires par suite de la marche continue de l'industrie minière dans la voie du progrès et de l'application, dans tous ses services, de principes rationnels et de solutions pratiques, inspirés par l'expérience, dans le double intérêt de la sécurité des ouvriers et de la fructueuse exploitation des gîtes minéraux.

Le tome II, celui qui offre peut-être le plus d'utilité par l'importance des matières qu'il traite, renferme la quatrième partie du cours : les *méthodes d'exploitation*; la cinquième : le *roulage*, et la sixième partie : l'*extraction*.

L'étude des *méthodes d'exploitation* occupe une place en rapport avec le sujet considérable qu'elle présente; les questions nouvelles y sont traitées d'une façon très complète : on y lira avec intérêt les nombreuses variantes des méthodes appliquées, selon les conditions des gisements, dans les exploitations françaises et étrangères, on y trouvera, notamment, la description des nouveaux procédés de remblayage hydraulique, qui ont donné, dans certaines régions et principalement au voisinage des agglomérations urbaines, des résultats très séduisants. L'application des méthodes à l'exploitation de substances minérales particulières a conduit les auteurs à l'exposé du procédé d'extraction par sondage du soufre liquéfié sous l'action de l'eau surchauffée, à celui du mode montant, de plus en plus en faveur et à juste titre, dans les ardoisières de l'Anjou, à l'étude des exploitations d'alluvions aurifères sous leurs formes très variées, etc.

La cinquième partie a trait, comme il a été dit, au *roulage*, mais son objet est beaucoup plus vaste; elle débute par un chapitre très développé consacré à la production et au transport de la force motrice dans les mines, étude qui pourrait être placée tout à fait en tête du cours, le transport de l'énergie trouvant aujourd'hui des applications dans la plupart des services d'une exploitation bien organisée. Une description complète de la production de la force par les gaz pauvres, un exposé de la production, du transport et de l'utilisation de la puissance fournie

(1) In-8° 255 × 165 de xx-1 404 pages, avec 731 figures. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1907. Prix broché : les trois volumes 90 francs.

par l'air comprimé et par l'électricité, l'étude des canalisations et celle des dangers pouvant résulter de l'emploi des courants électriques dans les mines grisouteuses ou poussièreuses sont présentés avec beaucoup d'ampleur et de détails.

Les transports par les locomotives de types divers en usage dans un grand nombre de mines étrangères et dans quelques exploitations françaises, les tractions mécaniques perfectionnées, opérées par câbles ou chaînes, l'installation et le fonctionnement des plans automoteurs, les mesures de sécurité dont ceux-ci doivent être l'objet dans leurs différentes parties, l'établissement des chemins de fer aériens à un, à deux ou à trois câbles, forment le surplus de la matière de cette cinquième partie, dont l'importance, on le voit. dépasse de beaucoup le titre modeste de « roulage » qui lui a été donné.

La sixième partie concerne l'*extraction*; elle renferme de nombreux renseignements et des développements multiples relatifs aux calculs, à l'entretien et à la surveillance des câbles d'extraction, en un mot, à la sécurité dans l'emploi de cet organisme essentiel; elle passe en revue les mesures de protection à observer dans l'armement des puits, sans omettre la description des évite-molettes mécaniques ou électriques les plus récents, celle des barrières de recettes, parachutes, etc.

Une place spéciale est réservée à l'étude des procédés permettant de réaliser les extractions intensives : encagement et décagement automatiques et organisation de recettes établies en vue des fortes productions. L'important problème de la régularisation de l'extraction, particulièrement avant l'emploi des câbles diminués qui s'imposent aux grandes profondeurs abordées de nos jours, trouve dans cette partie ses solutions rationnelles. L'influence de l'inertie des masses en mouvement sur les tensions unitaires des câbles, l'action des forces d'inertie sur les variations du moment résistant sont l'objet d'études et de discussions approfondies, réunies pour la première fois en un corps de doctrines. Des diagrammes rendent saisissant tout ce qui a trait à l'extraction et, complétés par des tableaux numériques ainsi que par des dessins à échelles agrandies par rapport aux anciennes, ils font comprendre clairement les explications données et forment du tout un ensemble facile à lire, précieux à compulser, renvoyant, par une bibliographie soignée, aux documents originaux et devant être consulté avec fruit par quiconque se propose de faire une étude détaillée d'une des branches des nombreux services de l'industrie minière.

H. C.

Ve SECTION

Cours de chimie organique, par Fred. SWARTS, professeur à l'Université de Gand (1).

L'ouvrage de M. Swarts est destiné à servir de guide aux étudiants ayant suivi un cours de chimie minérale, et qui abordent l'étude de la

(1) In-8° 245 × 160 de vi-669 p. avec fig. Paris, A. Hermann, 1906. Prix, broché : 15 f.

chimie organique. C'est la reproduction des leçons qu'il professe à l'Université de Gand.

L'auteur a eu soin de s'écarter de la sèche nomenclature qui est un écueil fréquent de ce genre d'ouvrage. Son traité se recommande pour l'exposition claire et concise du mécanisme des transformations de la matière, ainsi que pour les aperçus nouveaux qui permettront au lecteur de faire un usage profitable des traités spéciaux.

Il y a lieu d'appeler l'attention sur les passages que l'auteur consacre à la théorie de l'association moléculaire, à la distillation des mélanges, à la constitution de l'hexagone benzolique et, d'une façon générale, aux questions sortant un peu du domaine élémentaire. Le lecteur trouvera, condensée en quelques pages, la substance de volumes entiers.

La lecture de cet ouvrage est à conseiller à tous ceux qui veulent aborder d'une facon sérieuse l'étude de la chimie organique ; ils y trouveront en quelque sorte le résumé de nos connaissances sur cette matière et ne sauraient asseoir leurs études futures sur une base plus solide.

H. Laurain.

VIe SECTION

Vingt leçons pratiques sur les courants alternatifs, par E. Nicolas (1), professeur d'École Normale et professeur à l'École nationale professionnelle d'Armentières.

L'auteur en cherchant à ne se servir que de données expérimentales et en évitant de faire appel à des considérations mathématiques a voulu mettre son ouvrage à la portée des élèves de l'enseignement professionnel.

Bien qu'il soit fort difficile de se passer du calcul pour l'étude des courants alternatifs, on peut dire que le livre de M. Nicolas constitue un véritable effort, ne serait-ce que par le soin qu'il prend de donner au lecteur des notions sur la self-induction. La partie qui traite des applications est d'ailleurs fort intéressante et nous nous plaisons à penser que nombre d'électriciens y trouveront un utile complément à leur instruction.

N. M.

(1) In-8°, 250 × 165 de 210 p. avec 222 fig. Paris, H. Paulin et Cie, 1907. Prix : broché, 5 f.

Le Secrétaire Administratif, Gérant,
A. de Dax.

Imprimerie Chaix, rue Bergère, 20, Paris — 12228-8-07. — (Encre Lorilleux).

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE

BULLETIN

DE

SEPTEMBRE 1907

N° 9

LA MANUTENTION DES MATIÈRES ÉPURANTES DANS LES USINES A GAZ

PAR

M. J. PAYET

Les Compagnies gazières étant chargées d'un service public et livrant un produit qui pénètre dans la vie intime des individus sont tenues, de par leurs cahiers des charges, à certaines prescriptions qui, les unes, se rattachent à l'hygiène et à la salubrité, d'autres réglementent simplement la bonne qualité de la fourniture livrée.

C'est ainsi que, tous les traités entre villes et concessionnaires étant conformes sur ce point, le gaz vendu doit non seulement remplir certaines conditions en ce qui touche son pouvoir éclairant ou son pouvoir calorifique, mais encore être débarrassé, dans certaines limites, des composés nuisibles qu'il renferme. Ceux-ci se réduisent, somme toute, à deux : l'hydrogène sulfuré et le sulfure de carbone. Tous deux donneraient, par leur combustion, de l'acide sulfureux qui, par transformation facile en acide sulfurique, risquerait d'exercer une action profondément destructive sur les organes de la respiration, sur les matières à base de cellulose (papiers, étoffes, etc.), et sur les métaux avec lesquels ils pourraient être en contact prolongé comme dans les moteurs par exemple. Ils sont encore nuisibles, et dès avant leur combustion, par les actions sulfurantes qu'ils exercent sur les métaux aussi bien à froid qu'à chaud, tel, entre autres, le noircissement de l'argenterie.

La science, dans l'état actuel, ne fait connaître aucun absorbant permettant de se débarrasser du sulfure de carbone d'une façon complète et certaine, et par des moyens pratiques; par contre, il existe des procédés réellement industriels pour éliminer du gaz l'hydrogène sulfuré qu'il renferme. Quoi qu'il en soit,

et très probablement pour l'unanimité des conventions passées en France à ce propos, le gaz fourni doit être tel qu'il laisse intacte et sans la brunir une bande de papier imprégné d'une solution d'acétate neutre de plomb à 1 de sel pour 100 d'eau distillée, avec laquelle il est mis en contact pendant un quart d'heure dans son passage à travers une petite cloche en verre sous une pression de 2 à 3 mm d'eau.

En plus du devoir à remplir, il y a un intérêt certain à dépouiller le gaz fabriqué des principes non éclairants qu'il renferme, soit pour améliorer sa qualité et son titre, soit pour récupérer des éléments qui, grâce à des procédés judicieux d'élimination, sont rendus avantageusement vendables. En outre des composés nuisibles sus indiqués, le gaz, en effet, débarrassé de ses vapeurs goudronneuses et condensables par réfrigération ou mécaniquement, contient encore : de l'acide carbonique, des produits cyanogénés et des produits ammoniacaux. Ceux-ci peuvent être récupérés par des procédés purement physiques; quant aux autres, ils donnent lieu à l'opération de l'épuration proprement dite.

Les procédés mis en œuvre pour assurer cette épuration ont été quelque peu différents, suivant les époques et suivant les pays. Avec des fortunes diverses, on a principalement employé :

1° La chaux, qui est loin, tant s'en faut, d'être d'une insuffisante efficacité, mais dont l'inconvénient réside dans la difficulté où l'on se trouve de s'en débarrasser après qu'elle a servi;

2° Certains procédés ammoniacaux, et en particulier le superphosphate d'ammoniaque préparé en traitant les os calcinés par l'acide sulfurique;

3° Enfin, l'oxyde de fer dont l'emploi est actuellement très général dans les usines de France et de l'étranger.

Il a le gros avantage de permettre l'élimination, s'il est utilisé dans des conditions judicieuses, de tous les éléments dont on se propose de dépouiller le gaz.

Il se prête, en outre, à une régénération avantageuse par simple action de l'air, comme on peut le voir par l'examen des deux réactions fondamentales qui sont la base du procédé :

$$Fe^2O^3 + 3\,H^2S = Fe^2S^3 + 3\,H^2O,$$

$$Fe^2S^3 + 3\,O = Fe^2O^3 + 3\,S.$$

En réalité, les actions chimiques qui entrent en jeu dans le phénomène de l'épuration par l'oxyde de fer sont autrement plus complexes, et concourent à la limitation de la durée de la masse primitivement mise en œuvre, en même temps qu'ils assurent l'élimination des impuretés autres que l'hydrogène sulfuré. Elles donnent lieu, d'ailleurs, à l'heure actuelle encore, à des études des plus intéressantes de la part des chimistes gaziers.

Quoi qu'il en soit, l'oxyde de fer est employé :

Soit à l'état de minerai naturel, à condition qu'il soit tendre et facilement perméable au gaz, tels que les minerais ocreux et les limonites de certains terrains humides d'Allemagne, d'Écosse et de Hollande ;

Soit à l'état d'oxyde artificiel, comme la matière Lux, qui est obtenue par l'action à haute température de la soude sur du minerai de fer;

Soit, enfin, à l'état de matière Laming. Cette dernière s'obtient en mélangeant à de la sciure de bois, qui agit ici comme support et comme diviseur, le résidu obtenu en faisant réagir de la chaux sur du sulfate de fer. Les proportions de ces différents éléments ne sont pas indifférentes pour la valeur épurante du produit final et pour sa perméabilité au gaz. Elles n'ont pas été définies rigoureusement par l'inventeur et les brevets pris par lui de 1847 à 1850 sont muets à cet égard; mais la pratique a maintenant permis aux gaziers de se faire une opinion à leur sujet comme au sujet, aussi, des meilleurs tours de main à adopter dans la fabrication même du mélange.

Quelle que soit la matière employée, elle est renfermée dans des cuves généralement métalliques, en fonte, à section rectangulaire, présentant une gorge destinée à recevoir de l'eau et dans laquelle viennent plonger les parois d'un couvercle en tôle manœuvré lors du remplissage ou de la vidange des cuves. Un dispositif, qui peut varier de bien des manières, sert à relier chacune de celles-ci à son couvercle en utilisant la force produite par la pression même du gaz lorsque la cuve est en charge.

La matière repose sur des claies et peut être, dans une même cuve, partagée en plusieurs étages pour réduire la perte de charge qu'elle offre au passage du gaz.

Telle est, en tout cas, à la hauteur près qui a varié dans certaines usines et à certaines époques, la forme typique, simple et rationnelle, qui a été donnée aux cuves d'épuration dès l'origine de l'industrie du gaz, et alors qu'on ne songeait guère à

remplacer, comme de nos jours, les bras de l'homme par des organes mécaniques.

Malgré que des dispositions spéciales aient pu être proposées, dispositions analogues à celles qui consisteraient, par exemple, en des chambres inclinées, comme dans un brevet pris par la Compagnie pour la fabrication des compteurs et de matériel d'usines à gaz de la rue Claude-Vellefaux, c'est encore la forme ci-dessus que l'on rencontre dans les installations les plus récentes. On s'est contenté, parfois, de remplacer le joint hydraulique par un joint sec.

Les cuves sont reliées entre elles et à la canalisation générale de l'usine de telle sorte qu'elles puissent à tout moment assurer l'épuration complète du gaz au point de vue des produits sulfurés, non seulement de façon normale, mais encore en cas d'à-coup ou d'accident.

Ainsi, dans les petites installations, emploie-t-on le plus souvent quatre cuves dont trois, fonctionnant en série, sont toujours en service, la quatrième étant hors circuit, en remplissage ou en attente, pour le moment où le gaz commencerait à tacher, soit normalement, soit comme je le disais tout à l'heure, par à-coup ou par accident au sortir de la troisième cuve. Un jeu de vannes sèches ou un distributeur hydraulique permet alors d'ajouter en fin de circuit la cuve toute fraîche, et de mettre hors circuit la cuve qui était jusque-là la première. La dernière des trois cuves est dite de sûreté et, comme on le voit, sert à garantir la bonne épuration du gaz.

Ce principe de faire passer le gaz dans trois cuves en série ou dans trois séries de *n* cuves trouve, surtout, sa justification depuis que les progrès de l'industrie des cyanures ont prouvé l'intérêt présenté par la récupération du cyanogène contenu dans le gaz.

Il est généralement admis, en effet, depuis d'importantes études faites sur la question par M. Sainte-Claire Deville, à Paris, et par MM. Leybold et Lewis à l'étranger, que les phénomènes produits dans l'épuration ont, quelles que soient les réactions complexes servant à les expliquer, la succession suivante :

Formation de sulfure de fer par l'action de l'hydrogène sulfuré ;

Décomposition de ce sulfure par l'acide cyanhydrique, formation de cyanures et régénération de l'hydrogène sulfuré.

Il est donc naturel de provoquer et hâter ce double phénomène dans une première série de cuves pour éliminer le cyanogène ; d'avoir une seconde série de cuves pour retirer au gaz l'hydrogène sulfuré qui s'est reconstitué ; enfin, de posséder une troisième série agissant comme sûreté. Et, dans ces conditions, l'expérience montre bien que la matière, après revivification, se charge surtout : en bleu de Prusse après son passage dans les cuves de première série, et en soufre après son passage dans celles de deuxième série.

Afin d'alléger le travail de la matière épurante en vue de l'élimination sûre et complète de l'hydrogène sulfuré qui, somme toute, est la principale, il a été proposé divers procédés pour retirer les composés cyanogénés par voie plus ou moins humide ou liquide dans des appareils *ad hoc* placés avant les cuves.

Mais, de toute façon, il arrive fatalement que le contenu de celles-ci, à plus ou moins longue échéance, doit être revivifié.

De même, dans un but économique, a-t-on imaginé de procéder à cette revivification dans les cuves elles-mêmes par insufflation d'air ou d'oxygène pur. Mais, outre que cette façon d'opérer a paru à plus d'un gazier quelque peu dangereuse, il arrive un moment où, fatalement aussi, par suite de son durcissement et de la résistance qu'elle oppose alors au gaz, la matière doit être sortie de la cuve et remaniée.

Les deux opérations de vidange et de remplissage à nouveau pour les cuves en service sont donc inévitables ; on conçoit seulement qu'elles puissent avoir lieu à des intermittences plus ou moins espacées.

D'autre part, elles ne se conçoivent pas sans l'intervention forcée de la main humaine, alors qu'on pourrait éviter presque complètement celle-ci dans un procédé à voie humide continu.

La vidange d'une cuve ne présente rien de particulier ; mais son remplissage réclame quelques précautions. Il ne faut pas, en effet, que la matière y soit par trop comprimée, ce qui la rendrait difficilement perméable au gaz ; il est nécessaire, cependant, qu'elle soit quelque peu tassée, tout au moins le long des parois de la cuve ou des tuyaux d'arrivée ou de sortie situés à l'intérieur de celle-ci, de façon que le gaz ne trouve pas des chemins trop faciles susceptibles de le soustraire à l'action de la matière. Pour arriver à ce résultat, l'ouvrier piétine sur la matière et, comme il le dit dans un langage simple, mais qui fait image, il *marche* la cuve.

Comme on le voit par ce qui précède, la manutention de la matière épurante dans les usines à gaz est astreinte à des sujétions spéciales et l'emploi de procédés mécaniques qui, s'il était uniquement étudié pour l'atelier de l'épuration, pourrait ne pas être reconnu économique, n'est souvent que la conséquence obligée de la généralisation de la manutention mécanique dans d'autres ateliers de l'usine où elle s'impose, alors, soit par principe d'économie, soit par commodité d'exploitation, soit à cause de certaines difficultés nées de la main-d'œuvre.

En tout cas, dans l'épuration plus qu'ailleurs les procédés mis en œuvre devront être autant que possible les plus simples, les plus rudimentaires, les moins coûteux d'installation.

Ces procédés varient évidemment avec l'importance de l'usine et suivant qu'on a eu à envisager des installations existantes à remanier, ou des installations à créer de toutes pièces.

Ils varient, également, suivant que les aires d'étendages pour la revivification des matières se trouvent ou sont prévues dans un plan situé :

Soit au même étage que les cuves;

Soit à un étage inférieur;

Soit à un étage supérieur.

On devine que chaque cas puisse être considéré, pour ainsi dire, comme un cas d'espèce. Toutefois, j'indiquerai, pour chacune des trois catégories précédentes, quelques-unes des solutions adoptées ou proposées. Je terminerai par l'exposé de dispositions que j'ai été amené personnellement à imaginer et à étudier. Je n'envisagerai, du reste, que le cas de cuves fixes qui est celui presque exclusivement adopté.

Dans le but, accessoirement, d'alléger ou de faciliter le travail de manutention propre, certains inventeurs ont proposé l'emploi de claies spéciales qui permettent de décomposer la masse totale de la matière en petits paquets, en petits tas, faciles à transporter, que l'ouvrier accole les uns aux autres lors du remplissage de la cuve et qu'il retire un à un lors de la vidange. C'est l'idée qui a conduit à la conception d'un système dénommé Jäger, système appliqué à quelques cuves épurantes des usines d'Amsterdam.

Il se complète par une transformation de la cuve dont il est inutile de donner ici le détail.

Ce système supprime, en tout cas, le pelletage dans l'opération

de vidange, mais il maintient celui qui correspond au remplissage au moment où l'on enlève la matière de l'aire d'étendage.

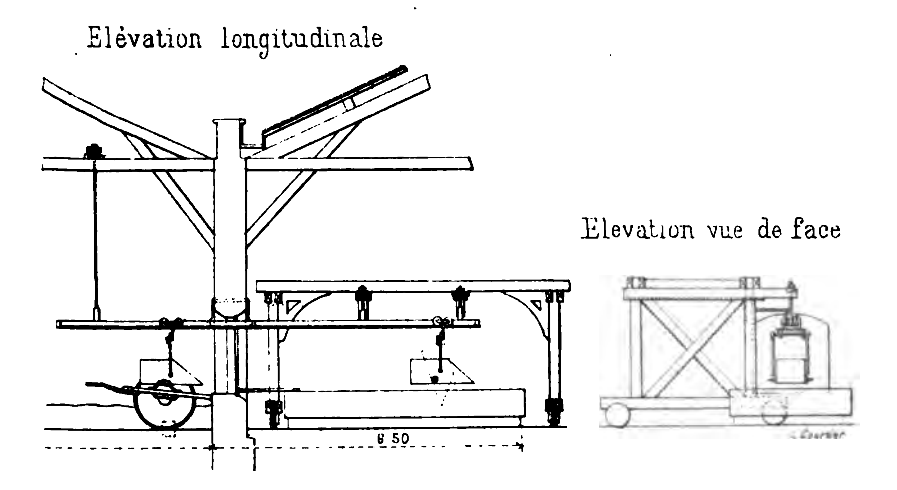
Un système analogue, du nom de B.A.M.A.G., nom formé avec les initiales de la raison sociale de la maison allemande qui en a la concession, suppose également l'emploi de claies spéciales formées de baguettes assemblées et destinées à supporter la matière, à diviser celle-ci pour permettre d'augmenter son épaisseur sans gêne pour le passage du gaz et de prolonger la durée de service des cuves.

Ces dispositifs visent surtout la meilleure utilisation de la matière dans la cuve; mais, s'ils ne se rapportent pas exclusivement à la manutention elle-même, il était juste, néanmoins, de les mentionner ici.

La première des trois catégories d'installations définies plus haut est la plus répandue parmi les installations existantes et correspond aux plus anciennes en date.

Dans cette catégorie, je signalerai la solution adoptée dans

USINE A GAZ DU LANDY   Fig. 1. - ENSEMBLE DU DISPOSITIF



l'une des grandes usines qui éclairent Paris. Il s'agit de l'usine à gaz du Landy *(fig. 1, 2 et 3)*.

Les cuves, placées sur deux rangées le long ou, du moins, près des murs longitudinaux de l'atelier sont séparées des aires d'étendage par ces derniers, lesquels, au droit de chaque cuve,

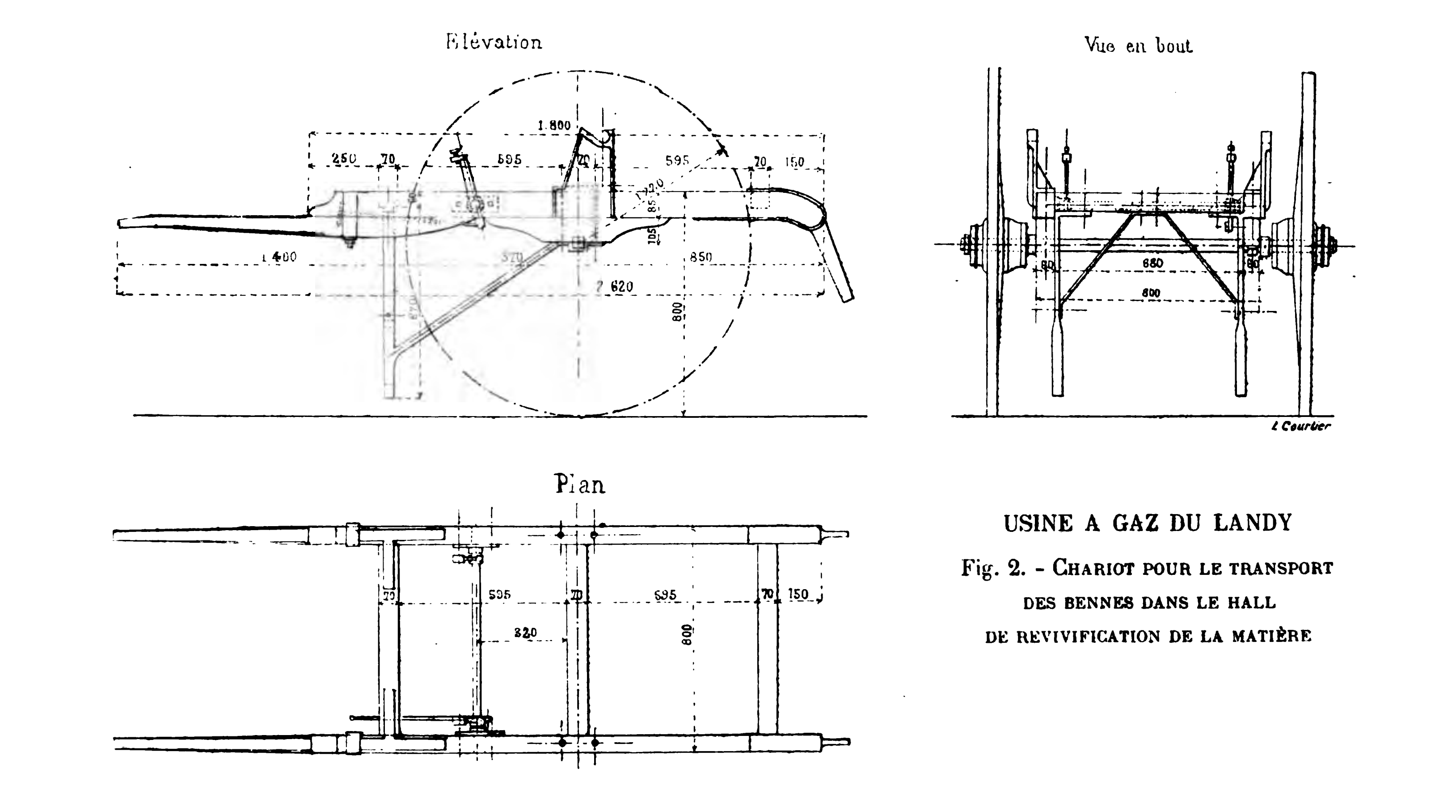
présentent des baies-fenêtres d'une largeur à peu près égale à celle de la cuve correspondante. A l'origine, aucun dispositif spécial n'avait été prévu pour la manutention de la matière qui supposait un pelletage à long jet à travers lesdites fenêtres. Il s'agissait donc d'améliorer la situation avec cette sujétion, cependant, qu'il fallait s'appuyer le moins possible aux murs du bâtiment. La question fut très judicieusement résolue par un système de bennes pouvant, dans l'intérieur de l'atelier, se déplacer grâce à un petit chariot intermédiaire le long d'un monorail supérieur, et, dans le hall de revivification, être portées par des sortes de camions à deux roues. Le pont roulant qui sert à lever les couvercles des cuves fut muni, latéralement, à la partie supérieure, d'un double rail se prolongeant à l'intérieur de l'atelier et du côté du mur latéral presque jusqu'au ras de celui-ci. Dans l'axe de chaque fenêtre, un double rail de même dimension fut suspendu à demeure à la voûte, mais sa longueur fut réduite au minimum de manière à lui permettre seulement de dépasser le mur latéral du coté des étendages d'une quantité juste suffisante pour dégager la benne.

De cette façon, le nombre des pelletages au remplissage et à la vidange ne fut pas diminué, mais ceux-ci furent rendus plus faciles et plus rapides, de telle sorte que la durée de la double opération qui consiste à vider et à remplir à nouveau une cuve fut réduite de plus d'un tiers.

Au lieu des camions servant à recevoir la benne dans l'intérieur du hall des étendages, on pourrait concevoir tout un réseau de monorails supérieurs permettant le remplissage et la vidange à n'importe quel point de ce hall. On aurait, ainsi, la solution qui semble la plus simple et la plus commode pour les installations de cette catégorie et qui est celle adoptée, d'ailleurs, à l'usine de Schlieren, à Zurich, usine qui, à plus d'un point de vue, passe pour un modèle du genre.

La seconde catégorie, celle où les étendages sont à un étage inférieur à celui des cuves, comprend les installations modernes se rapportant soit à des usines neuves, soit à des ateliers complètement remaniés.

Les cuves peuvent alors être disposées pour une vidange facile par leur fond, ce qui donne la possibilité d'éviter celui des pelletages qui correspond à la vidange. Des dispositifs plus ou moins ingénieux ou compliqués permettent de reprendre la



USINE A GAZ DU LANDY

Fig. 2. - Chariot pour le transport des bennes dans le hall de revivification de la matière

matière, après revivification, et de la porter dans la cuve où elle doit entrer.

A Versailles, cette opération se fait à l'aide de brouettes qui amènent la matière revivifiée dans une fosse d'où elle est reprise par une noria de façon à pouvoir être portée dans des trémies situées à la partie supérieure de l'atelier. Des trémies, la matière tombe dans des wagonnets mobiles sur un plancher situé à hauteur du bord supérieur des cuves et lesquels, par basculage, se vident dans celles-ci.

A Bordeaux *(fig. 1 à 6, Pl. 148)*, une installation analogue à la précédente, a été étudiée, comme cette dernière d'ailleurs et de toutes pièces par la Compagnie Continentale des Compteurs, pour l'usine à gaz de Bacalan.

La matière, comme tout à l'heure, tombe du fond des cuves sur l'aire d'étendage située au-dessous de celles-ci; elle est, après revivification, conduite dans la fosse d'une noria qui la reprend pour la porter à la partie supérieure de l'atelier et la déverser, non plus dans une trémie fixe, mais dans des trémies supportées par le pont roulant destiné à la manœuvre des couvercles. De ces trémies, la matière tombe directement dans la cuve à remplir.

La même observation générale faite pour les installations de la deuxième catégorie s'applique *a fortiori* à celles de la troisième, qui ne se rencontrent encore qu'à l'état de projets ou dans des usines tout à fait récentes.

En France, le seul exemple qui puisse être cité jusqu'à présent, rentrant dans cette catégorie, est, sauf erreur, celui de l'usine à gaz de Nanterre appartenant à la Compagnie « l'Union des Gaz ».

Les orifices de vidange des cuves étant sur un même alignement, il a été disposé, au-dessous d'eux, une chaîne sans fin mobile, munie de godets, qui monte latéralement et passe au-dessus de l'étage supérieur où se trouvent les étendages.

L'axe de support de chacun des godets étant mobile, ceux-ci, sous l'action de la gravité, restent toujours dans la même position par rapport à la verticale, et un taquet placé au bon endroit sur le brin supérieur suffit pour les faire basculer. Ils se vident ainsi automatiquement à l'endroit prévu.

Enfin, des orifices pratiqués dans le plancher supérieur per-

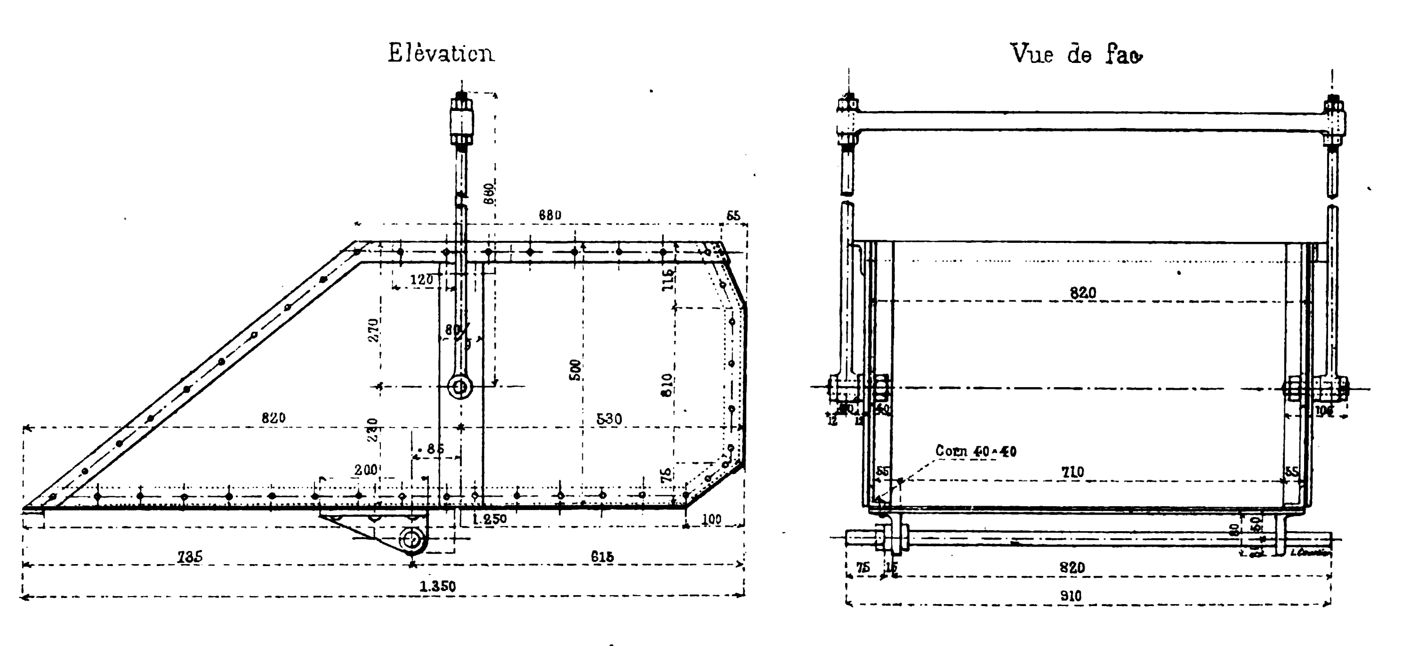


Fig. 3. — BENNES EMPLOYÉES A L'USINE A GAZ DU LANDY

mettent de faire passer directement la matière de l'aire d'étendage dans la cuve, à l'aide de goulottes appropriées.

D'autres dispositions peuvent être imaginées. J'en indiquerai trois qui ont été proposées, sinon encore exécutées, pour des usines à gaz situées à l'étranger, par une maison française : la Compagnie pour la fabrication des compteurs et matériel d'usines à gaz, de la rue Claude-Vellefaux.

Dans deux d'entre elles *(fig. 13, 14, 17 et 18, Pl. 148)* les opétions de vidange et de remplissage se font à l'aide de bennes qui, supportées par un câble, mobile autour d'une poulie placée à la partie supérieure du deuxième étage, dans un cas, ou commandée par une grue, dans l'autre, traversent le plancher de ce deuxième étage pour tomber dans la cuve dont la matière est à remplacer. La grue, dans celle des deux installations qui en est munie, facilite, en outre, l'étendage de la matière, jusque sur les points les plus éloignés de l'aire de revivification.

Le troisième projet *(fig. 15 et 16, Pl. 148)* prévoit la vidange des cuves, par la partie inférieure, dans des bennes roulant sur monorails. Celles-ci viennent se vider dans la fosse d'une noria, qui porte la matière dans un autre groupe de bennes roulant également sur monorails, au-dessus des aires d'étendage. Le plancher du second étage présente des ouvertures, par où la matière tombe dans les cuves, à l'aide de goulottes appropriées lors des remplissages.

La disposition qui comprend la vidange des cuves par le bas et leur remplissage par chute directe de la surface d'étendage ne supprime pas la présence, évidemment nécessaire, d'un homme dans la cuve pendant la vidange, ni pendant le remplissage. Mais elle a le gros attrait de réduire tout de même au minimum la main-d'œuvre, puisqu'elle supprime d'un même coup les deux pelletages dont il a été question plus haut, ainsi que les brouettages et manutentions intermédiaires. Toutefois, elle offre le danger de trop tenter l'ingéniosité des constructeurs et de provoquer des installations susceptibles d'être considérées comme onéreuses à amortir.

Je crois, cependant, qu'il est possible de profiter de l'avantage mentionné sans tomber dans l'inconvénient qui semble en être le corollaire.

Ici, quelques considérations d'ordre général s'imposent. Il est bien évident qu'une installation mécanique de l'ordre de celles

envisagées dans les exemples précédents ne peut s'appliquer qu'à des ateliers d'une puissance suffisante, et il ne peut pas être question, alors, d'immobiliser une cuve sur quatre comme cela est pratiqué dans les petits ateliers. Ce serait immobiliser un capital par trop considérable.

D'autre part, dans un projet établi de toutes pièces, les dimensions des cuves doivent être fixées avec le plus grand soin et judicieusement.

Pour une surface épurante donnée, les frais d'installation sont évidemment d'autant plus faibles que le nombre des cuves prévu est lui-même plus petit, c'est-à-dire que les cuves sont plus grandes; on est, en plus alors, moins souvent obligé de renouveler la matière qu'elles contiennent : d'où, économie de main-d'œuvre. Il semblerait donc qu'il y eût tout avantage à n'employer que de très grandes cuves. Mais il faudrait bien se garder d'exagérer dans ce sens à cause des à-coups considérables produits, au cours de l'exploitation, par la mise hors service d'une cuve, tant sur la pression du gaz que sur la puissance ou valeur moyenne de l'ensemble de l'épuration. Il y aura donc une cote mal taillée à faire pour se maintenir dans des conditions de sécurité tout en donnant aux cuves les plus grandes dimensions possibles. La durée probable de la double opération : vidange et remplissage pour une cuve isolée; comme aussi le nombre maximum de cuves susceptibles d'être isolées par jour, en tablant, bien entendu, sur la valeur maximum de la fabrication de l'usine et sur la puissance épurante de la matière employée, sont autant de données qui devront entrer en ligne de compte.

Par ailleurs, il y aura avantage, dans la conduite technique de l'épuration, à choisir une méthode qui assure en tout temps à l'ensemble de celle-ci une valeur moyenne à peu près constante ou du moins ne variant que dans des limites très étroites.

L'une de ces méthodes que j'ai eu personnellement l'occasion de mettre en œuvre et d'appliquer avec succès dans une usine de la Compagnie Parisienne du Gaz, alors que je faisais partie de celle-ci, me paraît devoir résoudre ce dernier problème.

Elle consiste :

1° A partager la matière destinée à l'épuration en lots séparés correspondant à la contenance d'une cuve;

2° A considérer chacun de ces lots comme des unités indépendantes et à les faire cheminer de cuve à étendage et d'étendage

à cuve d'une façon uniforme pour tous, de telle sorte que ces lots passent les uns après les autres dans la même succession de cuves et d'étendages;

3° A introduire dans l'épuration un lot de matière neuve et à rebuter un lot de matière usée à intervalles réguliers que l'on calculera aisément pour toute époque de l'année :

D'après la valeur épurante de la matière employée;

D'après la contenance des cuves;

Et d'après la production en gaz de l'usine à l'époque envisagée.

Dans ces conditions, il est possible d'affecter chaque cuve à des lots de matière d'un âge parfaitement défini et de dire, par exemple, que telle cuve contient d'une façon permanente un lot de matière ayant déjà fait tant de passages et ayant subi tant de revivifications antérieurement.

Bien plus, il est possible de conduire le cheminement de chacun de ces différents lots de façon qu'au moment de sa sortie d'une cuve il soit conduit à un étendage qui présente le maximum de commodités au point de vue de son introduction dans la cuve où il doit entrer ultérieurement. Par conséquent, dans le cas d'une installation disposée pour la vidange des cuves par la partie inférieure et l'étendage de la matière sur un plan supérieur, on pourra, chaque fois que l'on videra une cuve, porter le lot de matière qu'elle contenait directement au-dessus de la cuve dans laquelle ce lot devra entrer par la suite. Ainsi le remplissage se fera par simple chute à travers le plancher supérieur.

C'est sur ces données que se trouve basé le projet représenté par les figures 4 et 5 du texte et par les figures 7, 8, 9, 10, 11 et 12 de la planche 148, et qui, je crois, par la simplicité des dispositifs mis en œuvre, évite autant que possible les craintes formulées plus haut.

Le projet en question fut étudié pour assurer l'épuration d'une production journalière d'environ 100 000 m³ de gaz, la vitesse de celui-ci dans les cuves étant alors de 5 mm par seconde.

Le bâtiment correspondant est partagé en trois travées contenant chacune une série de cuves.

Il comporte un rez-de-chaussée et deux étages.

Le rez-de-chaussée renferme la canalisation générale et est affecté à la vidange des cuves.

Le premier étage renferme les cuves. C'est de cet étage que sont manœuvrés les couvercles et les vannes de celles-ci.

Le deuxième étage est affecté aux étendages des matières en revivification.

La manutention de la matière est faite à l'aide :

1° De bennes qui sont, dans le cas actuel, d'environ 1 m cube

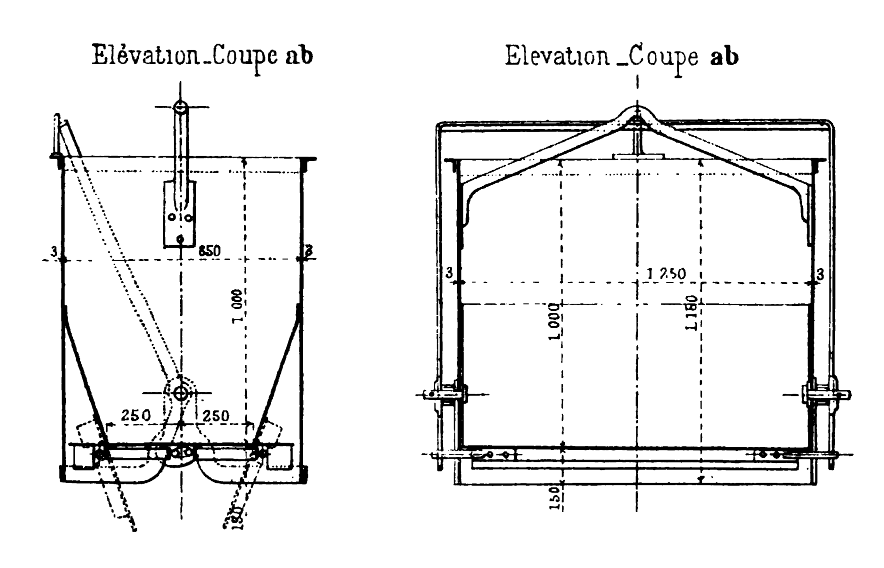
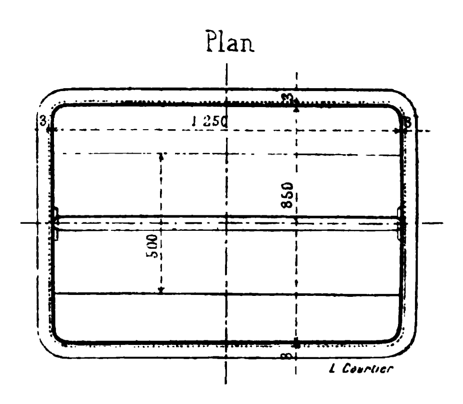


Fig. 4
DÉTAILS D'UNE BENNE



de capacité pouvant courir sur un réseau de monorails en pente douce situé au rez-de-chaussée sous les cuves, et sur un réseau analogue, également en pente douce, situé au deuxième étage.

Ces bennes se vidangent par leur partie inférieure.

2° De deux ascenseurs permettant : l'un (monte-charge ascen-

seur) de monter les bennes, une à une, du rez-de-chaussée jusqu'au deuxième étage ; l'autre (monte-charge descenseur) de les ramener, une à une, du deuxième étage au rez-de-chaussée.

La vidange des cuves a lieu par leur partie inférieure en faisant tomber la matière à travers des trappes placées dans leur fond et en l'amenant, à l'aide de goulottes en bois, dans les bennes situées au-dessous.

Une benne étant remplie, l'ouvrier, en la lançant légèrement, la laissera descendre le monorail du rez-de-chaussée, lequel est en pente douce, ainsi que cela été dit (10 mm par mètre en moyenne).

La benne viendra de la sorte s'engager d'elle-même dans le monte-charge ascenseur; celui-ci se mettra automatiquement en mouvement et la portera au deuxième étage où il la lancera, automatiquement aussi, sur le réseau de monorails qui y court. Grâce à des coins d'arrêt convenablement disposés, la benne ira d'elle-même s'arrêter au-dessus de l'étendage où elle devra être vidée.

Pendant ce temps, le monte-charge redescend de lui-même au rez-de-chaussée pour y recevoir. s'il y a lieu, une autre benne. Les bennes restent à l'étendage supérieur jusqu'au moment de la vidange d'une autre cuve. Elles sont alors ramenées à la partie inférieure par le monte-charge descenseur, lequel est également à fonctionnement automatique.

Ces deux monte-charges ont été étudiés par MM. Samain et Cie, Ingénieurs constructeurs d'ascenseurs à Paris, lequels ont prévu tous les organes de protection nécessaires pour assurer un fonctionnement automatique et pour supprimer toute éventualité de fausse manœuvre.

Leur détail est donné par une note annexée à ma communication. Grace aux dits organes de sécurités conçus d'une façon robuste et simple, à l'aide de véritables appareils d'enclanchement :

1° Une seule benne à la fois peut pénétrer dans l'ascenseur sur le monorail de ce dernier et seulement lorsque ce monorail se trouve en face de celui de circulation ;

2° Une benne ayant pénétré sur le monorail ascenseur, les suivantes sont arrêtées avant leur arrivée sur l'ascenseur;

3° La position de la benne arrivée sur le monorail ascenseur est maintenue fixe;

4° Enfin, le départ de la benne, une fois l'ascension terminée, se fait automatiquement.

Pour faciliter l'entrée des bennes dans les deux ascenseurs et

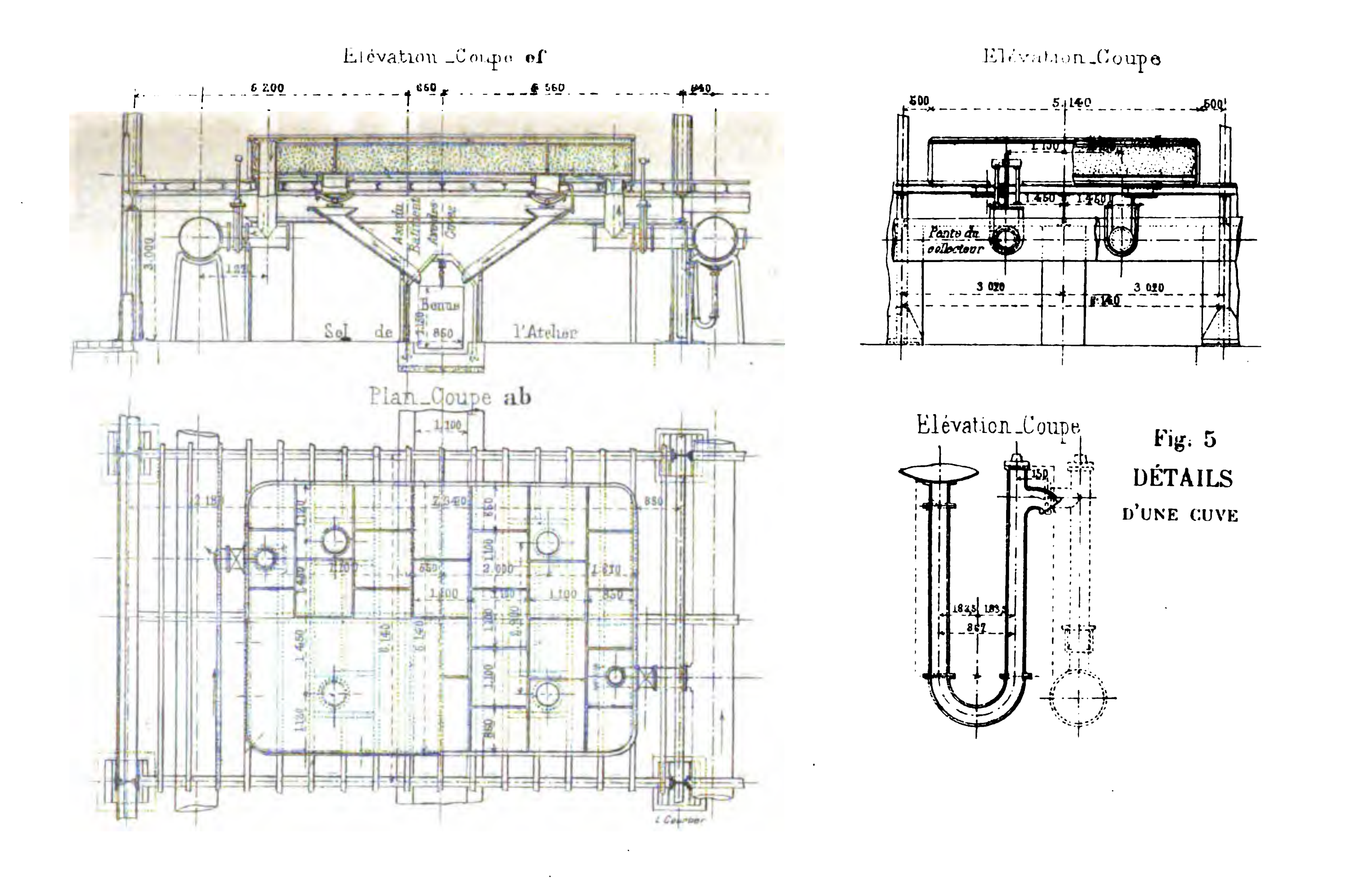


Fig. 5

DÉTAILS

D'UNE CUVE

leur sortie de ceux-ci, la pente des monorails est considérablement augmentée à proximité des cages, mais sur une faible longueur seulement.

Les caractéristiques des deux ascenseurs sont les suivantes :

Course : 10 m environ, soit la distance verticale des monorails inférieur et supérieur;

Puissance : 1 500 kg, comportant le poids de la benne et la charge de celle-ci;

Vitesse : 20 cm par seconde.

Au point de vue des organes de commande, le mouvement est donné à l'ascenseur exactement par les procédés en emploi dans les ascenseurs pour personnes, ascenseurs dans lesquels est obtenue l'automaticité absolue, le voyageur n'ayant qu'à presser sur un bouton pour se rendre à l'étage correspondant à ce bouton, étage où l'ascenseur va s'arrêter de lui-même. Il est manifeste que l'entrée de la benne et sa sortie peuvent, sans difficulté, remplacer le doigt du voyageur. Il serait superflu d'entrer dans les détails que comportent ces manœuvres.

Dans l'appareil qui sert à descendre les bennes vides, le monorail descenseur se tient normalement à la position supérieure; quand une benne a pénétré sur son monorail, la mise en marche automatique se produit et la benne se trouve amenée devant le monorail inférieur, sur lequel elle se met à courir d'elle-même; aussitôt qu'elle a quitté le monorail descenseur, celui-ci se met en marche automatiquement pour regagner la position supérieure.

Les moteurs qui actionnent les ascenseurs sont électriques dans le projet ici représenté. Cela tient à ce que l'usine importante pour laquelle celui-ci avait été étudié, se trouvait munie d'une station centrale dont il était tout naturel d'utiliser le courant. Mais on conçoit que les ascenseurs puissent être tout simplement conçus à la manière de monte-charges par contrepoids hydraulique, auxquels il serait d'ailleurs facile de donner un fonctionnement complètement automatique.

Comme toute usine à gaz possède des réservoirs d'eau toujours placés à bonne hauteur par rapport au niveau normal du sol, je suis convaincu que la solution que je préconise par bennes roulantes et ascenseurs avec étendages au-dessus des cuves peut, à raison même des moyens simples mis en œuvre, s'appliquer utilement non seulement aux très grandes installations, mais encore à celles de moyenne et petite importances.

ANNEXE

PROJET D'ASCENSEURS AUTOMATIQUES POUR USINE A GAZ

ÉTUDIÉ PAR

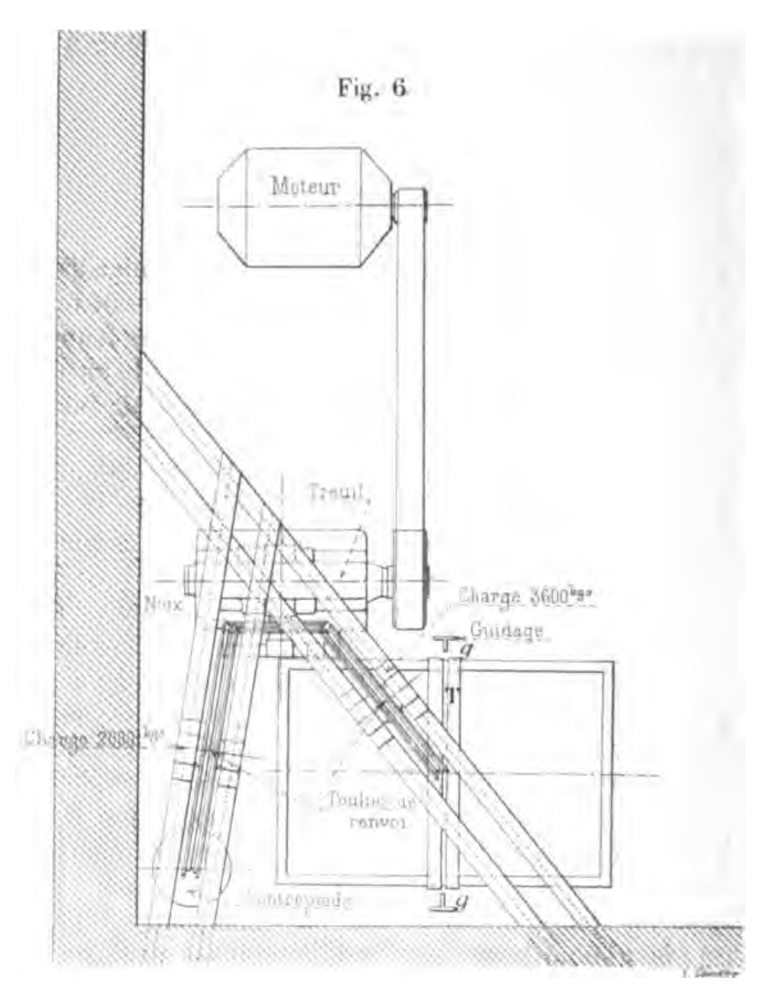
MM. SAMAIN et Cie

L'installation comporte deux appareils : le premier destiné à élever les bennes chargées de matières du monorail inférieur sur lequel elles courent, au monorail supérieur sur lequel elles vont courir; le second est destiné à reprendre les bennes vides, ou mieux à les recevoir, et à les ramener à la partie inférieure du bâtiment sur le monorail qui les attend.

Les deux appareils, tous deux absolument automatiques, sont conçus exactement de la même manière; leurs organes sont les mêmes; aussi, décrirons-nous seulement en détail l'ascenseur de bennes, le plus important des deux appareils par sa puissance.

L'ascenseur figuré sur les planches annexées comporte, pour recevoir les bennes, un bout de monorail M qui, dans les positions extrêmes, se trouve exactement en prolongement des monorails de circulation. Ce monorail est suspendu par quatre chaînes placées deux à deux à ses extrémités et se réunissant sur une traverse perpendiculaire au monorail-porte-benne et horizontale, traverse T des plans, de telle sorte que la figure formée par les projections horizontales des quatre chaînes soit un losange. Il résulte de cette disposition que la traverse se déplaçant verticalement en glissant le long de deux guidages en fer T, *g (fig. 6)* donne, par l'intermédiaire des chaînes, un déplacement vertical au monorail-porte-benne, sans permettre d'oscillations, celles-ci étant immédiatement détruites par le mode de suspension. Cette suspension, néanmoins, permet de donner, à l'aide de buttées convenablement disposées, l'inclinaison voulue au monorail-ascenseur pour permettre l'entrée des bennes presque sans vitesse initiale à la partie inférieure et leur sortie naturelle à la position supérieure, sous la seule force de la pesanteur.

La traction du groupe ainsi constitué par le monorail-porte-benne ascenseur, la traverse, leur liaison, s'effectue par une chaîne *(fig. 8)*. Cette chaîne porte la traverse par deux points pour assurer le déplacement bien vertical de celle-ci le long des



guidages *g*. Ces guidages sont fixés sur les fers des différents étages.

La chaîne de traction passe sur une poulie de renvoi pour venir en sous-sol passer sur une noix, partie intégrante d'un treuil électrique, puis remonter à la partie supérieure, passer sur une nouvelle poulie de renvoi et se terminer par l'attache des contrepoids d'équilibrage.

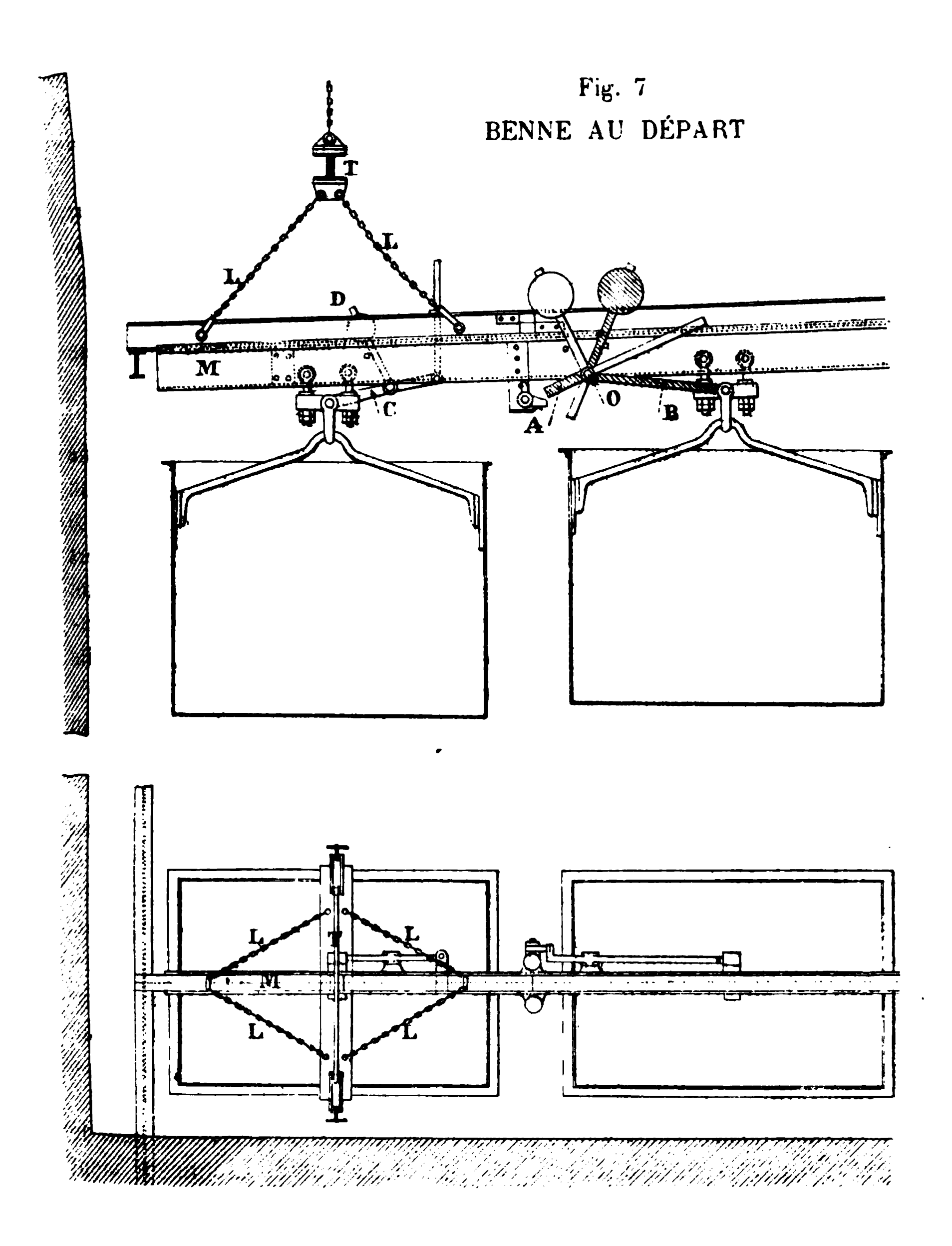


Fig. 7
BENNE AU DÉPART

Le treuil est à vis tangente à bain d'huile avec roue taillée; il comporte le moteur électrique, les organes de liaison, le frein, la liaison avec les organes de commande.

Il a été dit que les organes de sécurité avaient pour but :

1° Qu'une seule benne puisse pénétrer sur le monorail et seulement lorsque celui-ci se trouve en face du monorail de circulation;

2° Qu'une benne ayant pénétré sur le monorail-ascenseur, les suivantes soient arrêtées avant leur arrivée sur l'ascenseur;

3° Que la position de la benne arrivée sur le monorail-ascenseur soit fixe;

4° Que le départ de la benne une fois l'ascension terminée se fasse automatiquement.

Ces desiderata sont réalisés de la façon suivante :

Le monorail-ascenseur est en bas de course, libre, une benne se présente et pénètre. En pénétrant, la queue A (*fig.* 7) d'un levier articulé autour de l'axe O est heurtée de telle sorte que ce levier basculant prend la position figurée par des hachures, alors que sa position initiale était celle figurée en trait plein. Aussitôt le mouvement fait, une buttée B vient se présenter devant l'endroit où arriveraient les galets supports de bennes, de telle sorte que les bennes qui viendraient à se présenter, heurtant la queue B, soient empêchées et de se heurter sur la benne qui a pénétré sur le monorail-ascenseur, si celui-ci n'est pas encore parti, et de se jeter dans le vide si cet ascenseur est parti.

La queue B est spécialement étudiée pour recevoir les chocs des bennes qui la heurteront.

Quant à la benne qui a pénétré sur le monorail-ascenseur, elle a pénétré sur celui-ci jusqu'à une buttée et, en arrivant sur cette buttée, s'est enclanchée elle-même dans cette position par l'organe C qu'elle avait soulevé en passant et qui est retombé par suite de l'action de la lentille D ou d'un ressort la remplaçant. Le point de suspension de la benne se trouve fixé avec un jeu très faible.

L'ascenseur fonctionne, la benne monte, elle arrive en haut de course; en y arrivant, l'extrémité du monorail-ascenseur vient heurter un buttoir B (*fig.* 8), de telle sorte que le monorail prenne une inclinaison suffisante pour assurer le départ de la benne. Ce départ est permis par suite de l'effacement de la buttée mobile C qui maintenait la benne en sa position d'ascension. Cet effacement est obtenu par tige réglable agissant sur la queue de cette

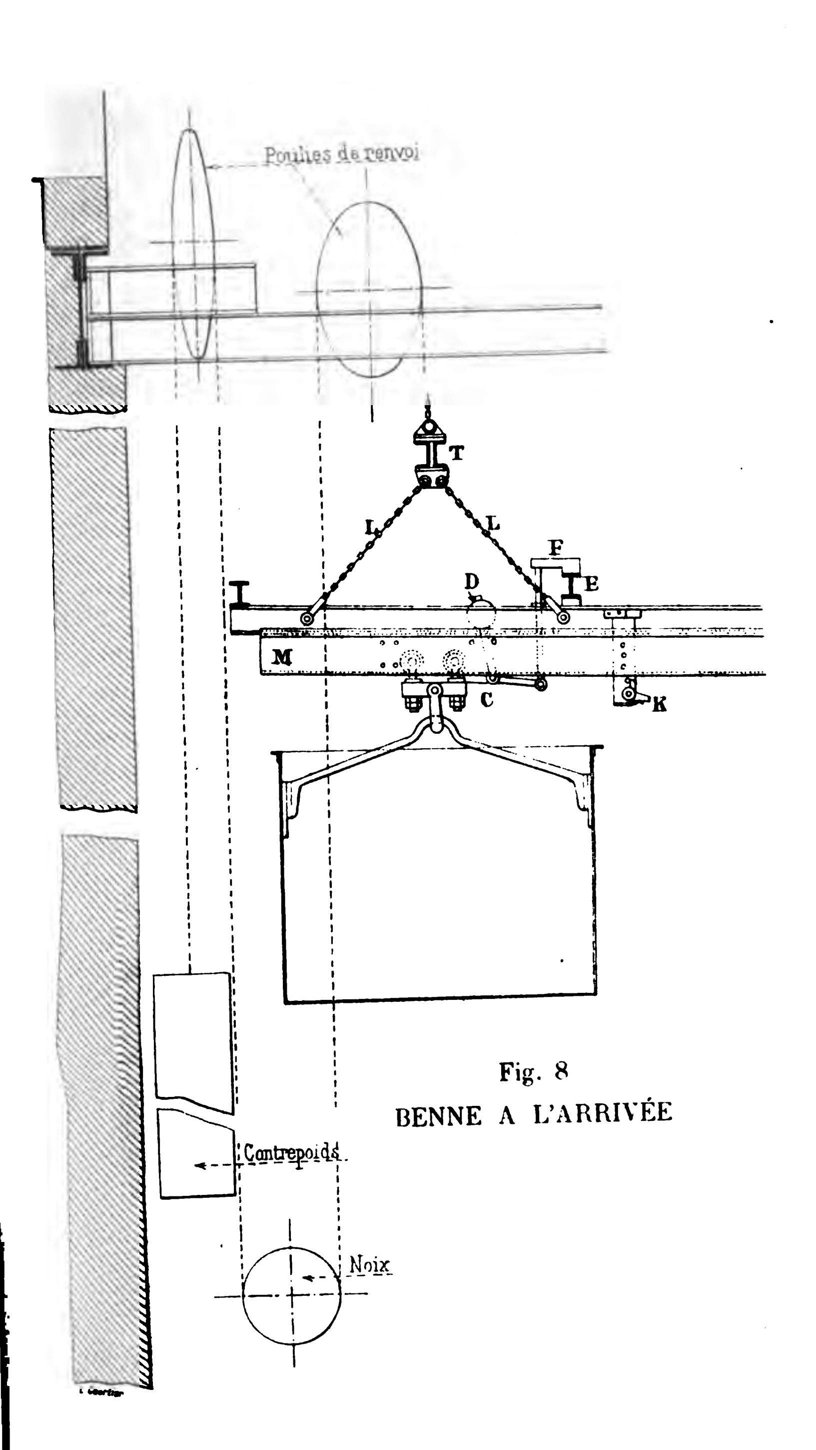


Fig. 8

BENNE A L'ARRIVÉE

buttée mobile et venant porter sur la partie F de la buttée fixe E. Il ressort de cette disposition que cet effacement automatique n'existe que lors de la présence du monorail-ascenseur à sa position supérieure.

La benne montée est partie, l'ascenseur redescend automatiquement, le voici à sa position inférieure. A ce moment, un doigt qu'il porte, K, doigt articulé et susceptible de fléchir de haut en bas, mais non de bas en haut, heurte la queue A du levièr de condamnation *(fig. 7)* que nous avions laissé fermant l'accès (position correspondant aux hachures), le fait basculer et reprendre la position correspondant au trait plein, de telle sorte que, si une benne vient à se présenter, elle pourra pénétrer sur le monorail-ascenseur, ou que, si une benne attend le retour du monorail-ascenseur, aussitôt la condamnation effacée, l'inclinaison des rails la fera pénétrer sur l'ascenseur.

Le même cycle recommence.

LES
MOTEURS LÉGERS A EXPLOSIONS
AVEC REFROIDISSEMENT PAR CIRCULATION D'AIR

LES AÉROMOTEURS

PAR

M. J.-Ambroise FARCOT.

De plus en plus, et dans toutes les industries, la question de la légèreté des moteurs est à l'ordre du jour.

L'industriel, le commerçant, l'agriculteur, désirent des moteurs économiques, d'un faible encombrement, aisément transportables, de prix d'achat modéré, pouvant être amorti en peu d'années, et de consommation réduite. Les progrès accomplis depuis quelques années ont donné satisfaction à ces desiderata et favorisé la substitution du travail mécanique au travail de l'homme et des animaux dans toutes les industries. Les aviateurs ou aéronautes ont même pu obtenir des résultats inconnus jusqu'à ce jour.

Plusieurs principes se sont présentés à l'esprit de ceux qui ont cherché à réaliser la plus grande légèreté possible dans les moteurs, principes que nous exposerons de la façon suivante :

1° Les moteurs légers à vapeur;

2° Les moteurs à explosifs;

3° Les moteurs à éther, acide carbonique, ammoniaque, etc.;

4° Les turbines, les moteurs rotatifs;

5° Les moteurs à explosions, qui font l'objet de la présente communication et dont nous avons particulièrement à nous occuper au point de vue du refroidissement des parois du cylindre.

1° Les moteurs légers à vapeur.

Les recherches faites dans cet ordre d'idées par de Dion, Ader, le commandant Renard, Serpollet, etc., ont démontré qu'il était

très difficile d'arriver à un poids réduit, et ce, malgré les chefs-d'œuvre d'ingéniosité et de patiente intelligence accomplis particulièrement par M. Ader dans son *Avion n° 3.*

Je ne puis mieux faire que de citer à ce sujet le passage de la lettre qu'il a bien voulu m'adresser dans le courant du mois de mai dernier relativement au moteur de son aéroplane :

« Le poids de la force motrice, composée du générateur de » vapeur, foyer, machine, condenseur, pompe, etc., était d'en- » viron 3 kg par cheval. La machine seule pèse 1 kg par cheval; » elle est en acier, à quatre cylindres à double expansion; l'ad- » mission est environ du cinquième de la course.

» L'alcool, comme combustible, est brûlé à l'état de vapeur.

» Le condenseur, quoique ayant une grande surface, ne pèse » que 15 kg.

» La pression dans le générateur atteint 12 à 15 kg.

» La traction effective fournie par les propulseurs pouvait » arriver à la moitié du poids total de la force motrice, mesurée » au dynamomètre au point fixe (ce qui correspond environ à » 70 kg.) ».

L'appareil décrit ci-dessus est exposé au Conservatoire national des Arts et Métiers et très intéressant à visiter. On voit, en outre, sur un tableau exposé au fond de la salle, près de la machine, que M. Ader a pu effectuer, avec l'ensemble de son aéroplane, un bond de 300 m. Ces essais ont été effectués au camp de Satory, le 14 octobre 1897.

M. Ader avait prévu pour son *Avion n° 4* un moteur à explosions à huit cylindres en V, afin de supprimer les trépidations provenant de son moteur à quatre cylindres et qu'il avait pu constater dans ses précédents essais.

Il considère comme une grave erreur de mettre une multitude de cylindres à la suite les uns des autres sur le même arbre moteur.

Par ses remarquables travaux, M. Ader nous a donné de précieuses indications pour l'avenir de l'aviation et nous ne pouvons que regretter qu'il se soit retiré aussitôt de la lutte pour la science.

Nous aurions eu à nous étendre beaucoup sur cette intéressante question des moteurs légers à vapeur, mais cela nous éloignerait du sujet que nous avons à traiter.

2° Les moteurs à explosifs.

Nous pouvons considérer ce genre de moteur comme étant le plus ancien, car, on peut le dire, il date presque de l'époque de l'invention de la poudre à canon; mais, par suite de la difficulté d'obtenir des joints étanches et le danger considérable que comporte la manipulation des explosifs (on a vu à plusieurs reprises des inventeurs sauter avec leurs appareils), on a dû abandonner ce système, une étincelle ou une communication fortuite avec le magasin pouvant toujours renouveler de semblables catastrophes.

3° Les moteurs à éther, acide carbonique, ammoniaque, etc...

La théorie si séduisante de ces moteurs n'a pas pu donner de résultats réellement pratiques, surtout en ce qui concerne la question des moteurs légers, et ce, malgré les tentatives qui ont été faites par des chercheurs s'occupant d'aviation.

Les difficultés d'ordre secondaire dans ce genre de moteurs, telles que l'étanchéité des joints, la décomposition de matières au contact des liquides, le graissage, considérées à première vue comme insignifiantes, ont toujours entraîné les chercheurs à des échecs.

D'autre part, le poids par cheval auquel on est arrivé à ce jour avec ces moteurs détourne un peu l'attention de cette question.

4° Les turbines. — Les moteurs rotatifs.

Cette question, à mon avis, sera certainement celle de l'avenir; mais, si l'on trouve que la turbine peut être construite dans des conditions d'extrême légèreté, les appareils accessoires et le générateur ne sont pas dans le même cas; c'est ce qui, jusqu'à ce jour, a toujours eu pour conséquence d'entraîner le poids total de la turbine à un taux presque aussi élevé que celui des

moteurs à mouvement alternatif. Je pourrais citer que dans certains essais que j'ai eu l'avantage d'entreprendre, nous avions pu construire des turbines de 8 à 12 ch et du poids total, pour la turbine seule, de 55 à 60 g, tournant à la vitesse fabuleuse de 60 000 tours par minute. Mais, comme je le disais tout à l'heure, si le poids de la turbine elle-même est faible, il n'en est pas de même pour les appareils de réduction de vitesse et le générateur capable d'engendrer la pression nécessaire pour alimenter de telles turbines, car la consommation par cheval et par heure arrive à des chiffres très élevés.

Si donc, dans l'état actuel de la question, nous arrivions à des poids de générateur même et de turbine très réduits, la quantité de combustible consommé compenserait et au delà les avantages de ce genre de moteur.

La question des moteurs rotatifs ne semble pas plus avancée.

5° Les moteurs à explosions.

Certainement, de tous les moteurs légers, ceux qui ont entrés dans le domaine de la pratique économique sont du type dit « à explosions ».

La description et les éloges de ce genre de moteur ne sont plus à faire ; il ne reste plus que la mise au point de certains détails qui rendra plus simple et plus pratique leur emploi.

Une des questions les plus importantes qui restent à traiter est celle du refroidissement des parois du cylindre.

Tout le monde sait qu'il est nécessaire de maintenir les parois du cylindre à une température convenable, afin de chercher à éviter les dilatations inégales de ces parois et d'obtenir un bon graissage des parties frottantes du piston.

Pour assurer cette uniformité de température, on a recours à une circulation d'eau qui transporte les calories en excès des parois du cylindre à un appareil refroidisseur ou à une circulation d'air.

Nous allons donc examiner comparativement les moyens qui ont été employés jusqu'à ce jour pour assurer le refroidissement, soit par circulation d'eau, soit par circulation d'air.

Les moteurs à circulation d'eau.

Les moteurs à refroidissement par circulation d'eau sont les seuls employés actuellement pour les puissances élevées.

Cette circulation entraîne l'adaptation d'autres appareils, tels que radiateur, pompe et sa commande, un réservoir d'eau, une tuyauterie et des joints, etc.

D'autre part, il est difficile d'avoir un radiateur de surface de refroidissement suffisante sans entraîner un grand encombrement. Cet appareil est, en outre, d'une certaine fragilité et, malgré l'habileté des spécialistes, il arrive parfois que les joints cèdent sous l'action des trépidations. L'eau plus ou moins calcaire employée engendre des dépôts de tartre obstruant en partie les conduits qui, pour faciliter le refroidissement, sont le plus souvent de faible section. Il s'ensuit des échauffements anormaux pouvant avoir un fâcheux effet sur le fonctionnement du moteur.

En hiver, la gelée entraîne quelquefois la rupture des cylindres ou de leurs appareils accessoires.

Le refroidissement méthodique par l'air sera la solution de toutes ces difficultés; toutefois, en attendant que ce procédé soit définitivement adopté, j'ai été amené, pour satisfaire aux demandes qui m'étaient faites, à créer un type de moteur à circulation d'eau conçu de façon à donner le moins possible des désagréments inhérents à ce mode de refroidissement.

A titre d'indication, je présenterai ce type de moteur, que j'ai pu entreprendre en grandes séries avec le concours de M. Ch. Olivier, à Ornans (Doubs), afin d'obtenir des prix de vente très réduits.

Ce moteur est composé *(fig. 1, 2, 3, 4, Pl. 149, et 1, 2 du texte)* de quatre cylindres pris dans un seul bloc de fonderie ; il offre comme particularités une extrême simplicité, un fonctionnement très sûr et de larges sections, tant pour l'admission et l'échappement que pour la circulation d'eau. On pourra se rendre compte par les figures ci-contre de l'aspect général de ce moteur.

Ce type a été appliqué particulièrement à des groupes électrogènes et à des bateaux. Les nombreuses installations qui en ont été faites, tant pour l'automobile que pour les usages industriels

et agricoles, ont démontré ses qualités pratiques et son bon fonctionnement.

Des essais très intéressants au sujet de l'augmentation momentanée de puissance de ce genre de moteur, en vue de son application à la navigation aérienne, ont été faits par la Société l'« Aster ».

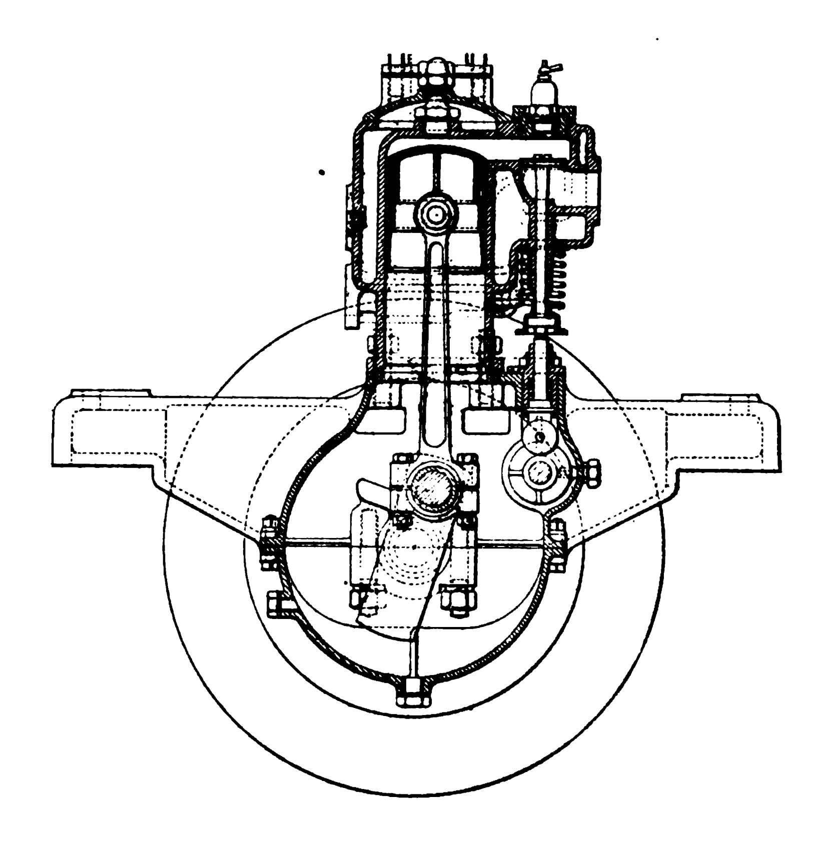


Fig. 1. — Coupe transversale d'un aéromoteur.

D'après la *Revue de l'Aviation* de mai 1907, le distingué Ingénieur M. Jaubert injectait, en cours de marche du moteur, une certaine quantité d'oxygène, dans la proportion maxima de *180 l par cheval-heure.*

Cet oxygène était obtenu par l'action de l'eau sur du tétraoxyde de potassium.

L'augmentation de puissance était de 70 0/0, ce qui donnerait

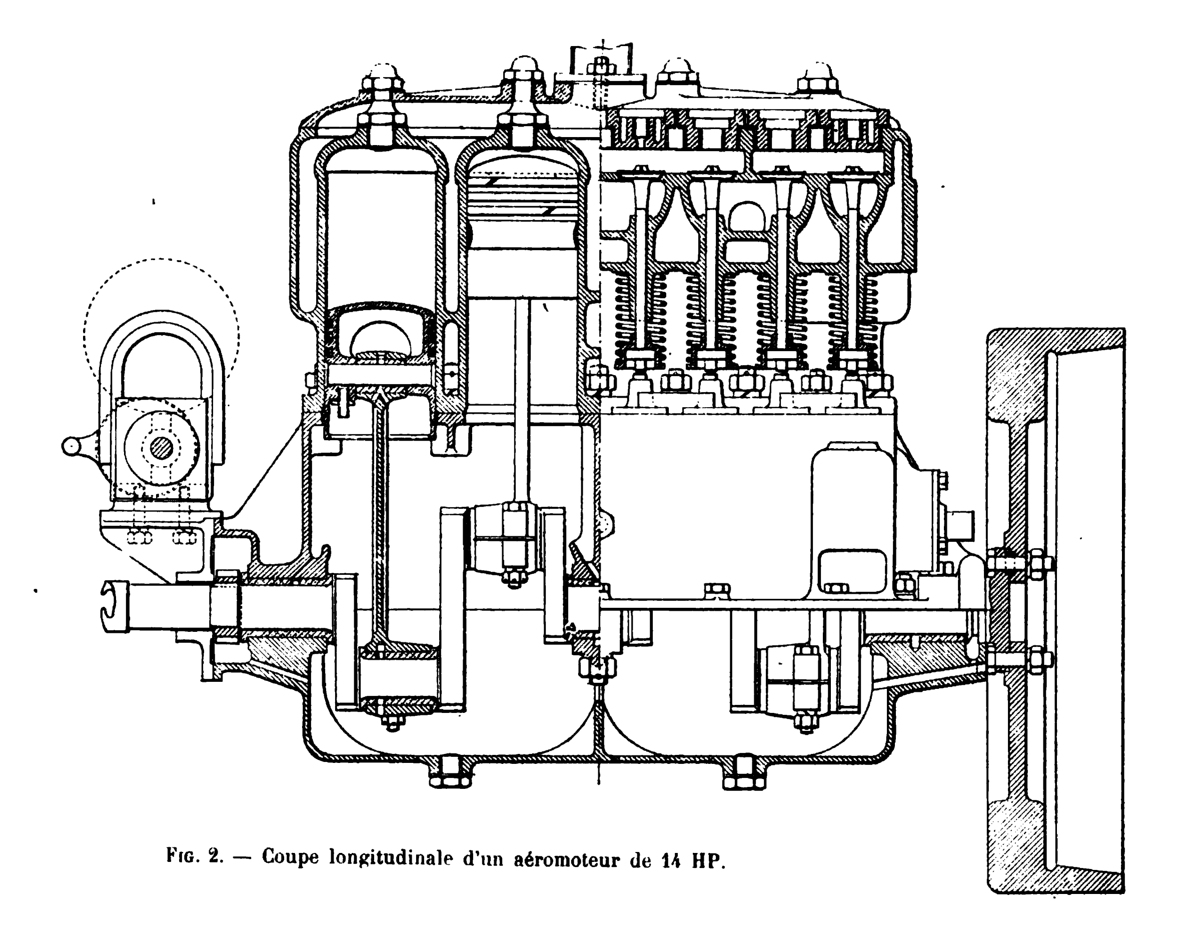


Fig. 2. — Coupe longitudinale d'un aéromoteur de 14 HP.

donc à ce moteur une puissance de 32 HP pour un poids de moteur seul de 95 kg (1).

Cette question n'est pas encore entrée dans le domaine de la pratique.

Refroidissement méthodique par l'air.

Il existe, en Amérique et en Angleterre, des constructeurs qui ont fait des tentatives dans cet ordre d'idées; mais jusqu'ici ces essais n'ont pas donné de résultats concluants permettant l'emploi général pour les moteurs de toute puissance.

En effet, tous les moteurs basés sur ce principe sont refroidis par un ventilateur ou une hélice refoulant l'air autour ou sur les cylindres par des conduits de sections toujours insuffisantes qui ne permettent pas à l'air, dont la capacité calorifique est excessivement faible, d'absorber les quantités de chaleur nécessaires au bon fonctionnement du moteur.

Quelques moteurs existants.

Nous examinerons quelques-uns des moteurs qui ont donné des résultats intéressants avec ce principe du refroidissement des parois du cylindre par une circulation d'air intensive.

Tout le monde connaît le moteur de la motocyclette qui est refroidi par suite de la disposition de simples ailettes autour du cylindre. On a pu exécuter des moteurs monocylindriques refroidis par le déplacement rapide du moteur sur la route jusqu'à un diamètre intérieur de 110 à 120 mm.

Nous signalerons, en outre, un petit moteur à quatre cylindres très intéressant, d'une fabrique de motocyclettes belge, et dont nous donnons une des vues principales *(fig. 5, Pl. 149)*.

Nous signalerons encore, comme moteur à refroidissement d'air, celui de la Maison Knox, qui semble donner des résultats

(1) Au prochain Salon d'automobiles sera exposé un moteur à pétrole à quatre cylindres, muni d'un nouveau dynamomètre mécanique étudié par mon frère, M. François Farcot, et dont la sensibilité est des plus considérables. Les essais officiels faits dernièrement au Conservatoire des Arts et Métiers ont démontré que le coefficient de sensibilité de cet appareil est de 99 0/0. Son principe est basé sur l'utilisation de la réaction d'une force sur un plan incliné. Ce dynamomètre est complété par un nouveau frein permettant en marche, par la simple manœuvre d'un levier, de donner la résistance nécessaire pour absorber la force développée par le moteur. Cet appareil semble donc appelé à rendre de grands services dans le monde automobile, en supprimant l'emploi du frein de Prony et les dynamos freins, d'un emploi si délicat.

assez intéressants et qui est caractérisé par ses soupapes dans les fonds, par suite de la nécessité dans laquelle on se trouve d'éloigner autant que possible la soupape d'échappement des parois du cylindre pour diminuer l'échauffement occasionné par le passage rapide des gaz au travers des sections réduites. Le refroidissement du moteur Knox est assuré par une simple hélice placée en bout des cylindres *(fig. 6, 7 et 8, Pl. 149)*. Une particularité des cylindres est leur aspect de « hérissons » comme le montre la figure 8, dû aux nombreuses pointes rapportées qui augmentent la surface de refroidissement; de sorte que, malgré la ventilation inégale résultant de la position de l'hélice par rapport à celle des cylindres, ce moteur a donné d'assez bons résultats.

Les figures ci-dessus représentent le modèle à quatre cylindres de 110 mm d'alésage et de 120 mm de course; il développe une puissance de 30 ch.

Moteur Rankin-Kennedy.

Le moteur américain Rankin-Kennedy *(fig. 3)* est de type différent.

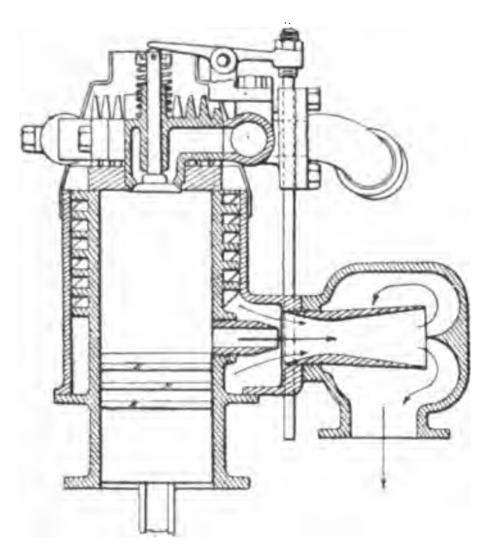


Fig. 3. — Coupe transversale du moteur Kennedy.

L'échappement est à fond de course et forme appel d'air autour du cylindre X. Mais, par suite de cette disposition, le graissage

des pistons, qui est un facteur important de bon fonctionnement d'un moteur, est plus difficile à réaliser.

Comme dans le moteur précédent, les soupapes sont placées dans les fonds de cylindres.

Moteur Esnault-Pelterie.

Ce moteur très intéressant est à refroidissement par l'air et comporte sept cylindres. Je crois savoir que M. R. Esnault-Pelterie se propose d'en faire le sujet d'une communication spéciale.

Moteur Frayer-Millet.

Les soupapes de ce moteur (*fig. 4 et 5*) sont toujours dans les fonds, mais disposées horizontalement, dans le but d'obtenir le

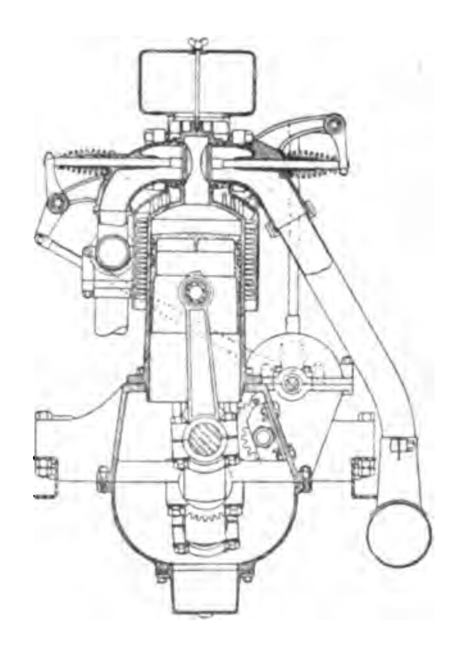


Fig. 4. — Coupe transversale du moteur Frayer-Millet.

plus grand éloignement possible de la soupape d'échappement des parois où travaille le piston.

Pour obtenir le refroidissement, un ventilateur à grande vitesse

envoie de l'air sous pression dans une conduite, d'où il est dirigé sur les parois extérieures à travers des ailettes, produisant ainsi

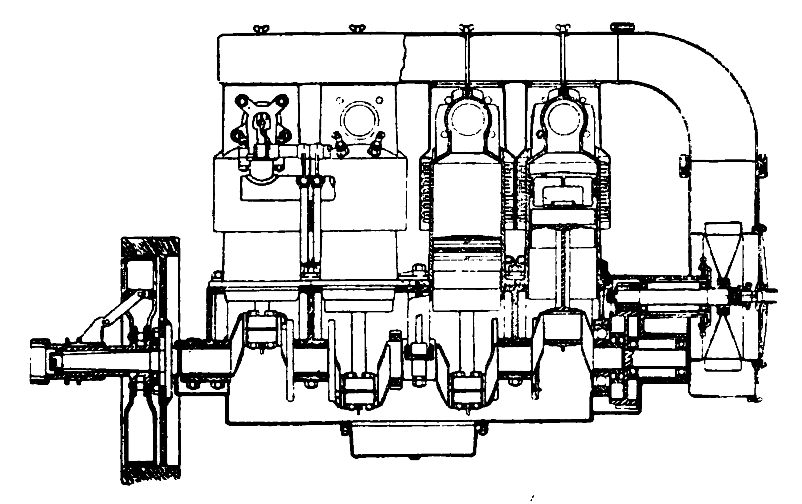


Fig. 5. — Coupe longitudinale du moteur Frayer-Miller.

un refroidissement relatif. Il est à constater que, malgré sa complication, ce système a donné des résultats assez avantageux.

Moteur Adams ou Auriol.

Ce moteur (*fig. 6*) présente la particularité de faire tourner les cylindres autour de l'arbre vilebrequin, qui reste fixe. On a constaté de bons résultats avec ce type de moteur.

Une foule d'inventeurs ont créé de nombreux moteurs basés sur les mêmes principes que ceux que nous venons de décrire.

Nous voyons, d'après cet exposé, que la question du refroidissement des cylindres de moteur par l'air est entrée dans le domaine de la pratique.

Non seulement il résulte un avantage important de l'emploi de ce mode de refroidissement au point de vue de la simplicité des moteurs, en raison de la suppression des organes accessoires qu'entraînerait une circulation d'eau, mais nous constatons aussi une élévation du rendement du moteur se traduisant par une diminution sensible de la consommation à puissance égale.

Cette augmentation de rendement est due à l'élévation de température des parois du cylindre, qui varie de 125 à 160 degrés,

tandis que dans les moteurs à circulation d'eau, la température des parois est de 90 à 110 degrés.

L'échappement a lieu à la partie supérieure de la culasse, afin de diminuer la surface en contact avec les gaz brûlés et faciliter le refroidissement de cette culasse de façon à éviter l'auto-inflammation.

Si nous examinons le fonctionnement d'un moteur à quatre temps au point de vue calorifique, nous constatons deux phases bien distinctes :

La première, celle de l'explosion du mélange gazeux et de

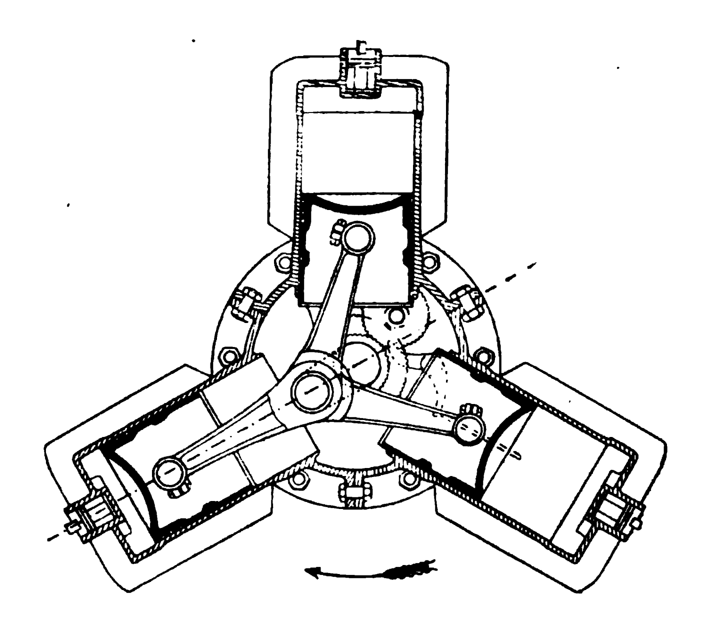


FIG. 6. — Coupe transversale du moteur Adams.

l'échappement, procure une élévation de la température des parois.

La seconde, celle de l'aspiration et de la compression, provoque un abaissement de la température de ces parois.

En poursuivant notre examen, nous sommes conduits à rechercher les divers phénomènes qui se produisent dans le cycle d'un moteur à explosions, au point de vue de l'emploi de la chaleur :

1° La chaleur développée par la combustion du mélange gazeux à l'intérieur du cylindre;

2° La chaleur absorbée par le travail ;
3° — transmise aux parois du cylindre ;
4° — qui se trouve évacuée par l'échappement.

La troisième partie de cette division sera à examiner d'une façon attentive pour déterminer le volume d'air à faire circuler autour des cylindres.

Étant donné que le pouvoir absorbant d'un métal varie de 0,17 à 0,25, suivant sa nature, et que le pouvoir émissif est égal au pouvoir absorbant, il sera facile de déterminer le nombre des calories, qui seront dispersées par la circulation d'air, afin de maintenir la température maxima qui convient au bon fonctionnement du moteur.

C'est en me basant sur ces données et sur les résultats des essais que j'ai été amené à faire, que je suis arrivé à déterminer les sections et les dimensions des aéromoteurs, dont je vais décrire, dans leurs grandes lignes, les principales caractéristiques :

Aéromoteur pour groupe propulseur aviateur.

Les figures 7, 8, 9 et 10 montrent l'ensemble et les détails d'un appareil complet, comprenant le moteur à une seule soupape par cylindre, et son hélice propulsive formant volant, deux petites masses étant convenablement disposées aux extrémités de cette hélice.

Échappement. — Le moteur a comme particularité un dispositif de soupape breveté récemment et constitué, comme on peut le voir dans la coupe longitudinale, par un clapet unique qui vient se fermer sur la partie supérieure de la culasse et, par suite de la position d'ouverture plus ou moins grande de cette soupape, produit soit l'échappement, soit l'admission. La vue extérieure, côté de la distribution, montre la forme particulière de la came et de la commande de l'extrémité de la soupape.

Un ressort convenablement disposé agit en compression sur ce clapet, tendant à le maintenir constamment fermé.

Afin de conserver étanche le guide de la soupape, un joint en cuivre rouge, de la même forme que ceux en cuir employés pour les presses hydrauliques, en assure l'obturation.

A l'échappement des gaz, la soupape se trouve sur la première

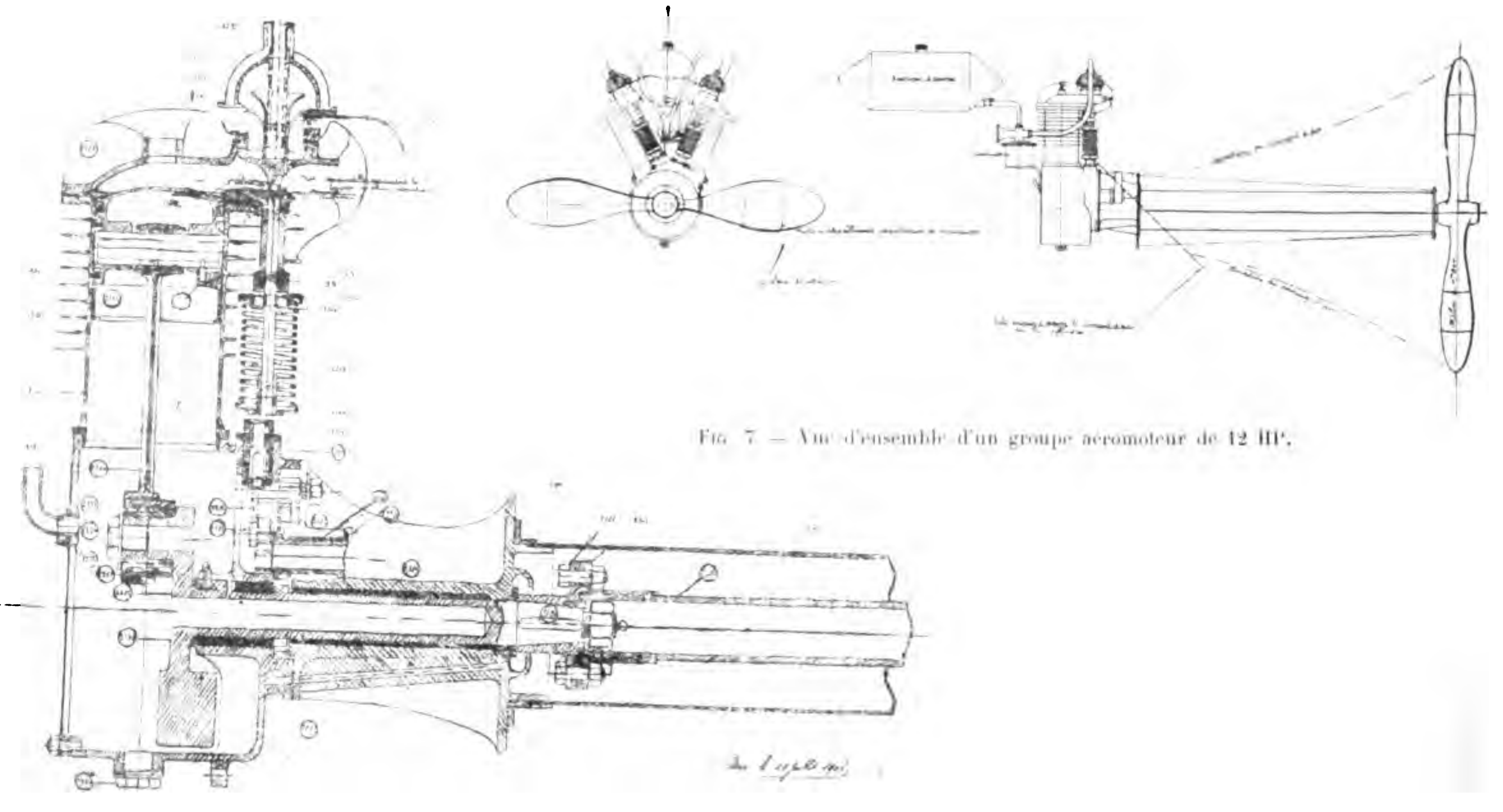


Fig. 7. — Vue d'ensemble d'un groupe aéromoteur de 12 HP.

Fig. 8. — Coupe longitudinale de l'aéromoteur de 12 HP.

partie de la came la moins élevée, et laisse libres des orifices de grande section pour l'évacuation. Les gaz, avant de s'évacuer dans l'air, sont obligés de traverser une enveloppe perforée qui a pour propriété de former silencieux et en même temps récupérateur de chaleur, dans une certaine mesure.

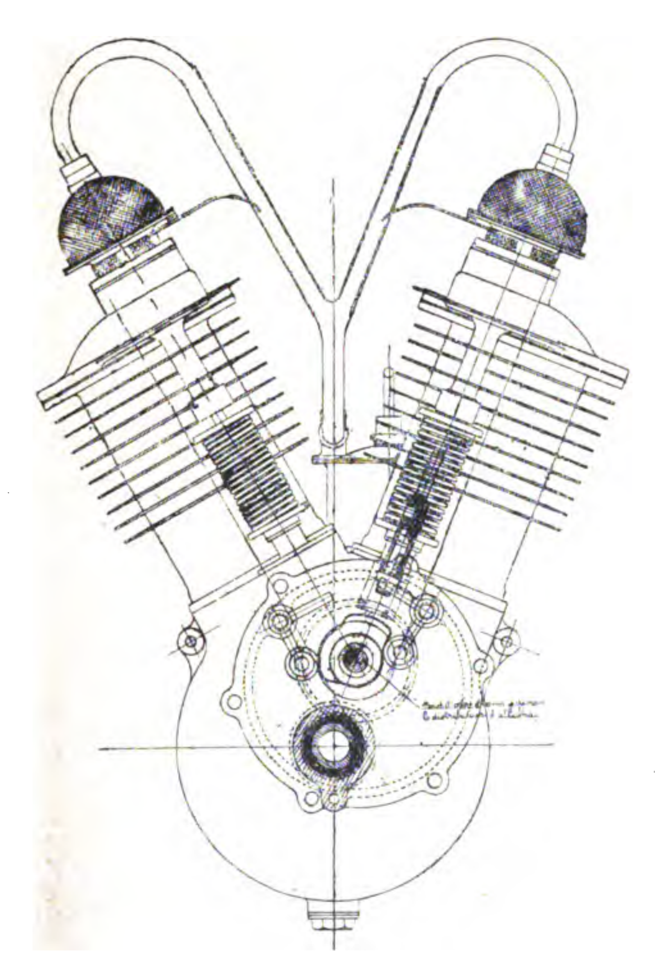


Fig. 9. — Vue de face de l'aéromoteur de 12 HP.

Afin d'éviter toute projection de flammes, en dehors de ce silencieux d'un nouveau genre, une toile métallique de mineur en assure l'extinction complète.

Comme on peut s'en rendre compte, cette soupape unique présente des avantages très grands au point de vue de la légèreté d'un moteur, tout en lui donnant une grande simplicité.

Admission. — La came, par suite de son mouvement de rotation, ouvre plus complètement la soupape, et la corolle qui se trouve au-dessus de ce clapet s'abaisse, réduisant l'espace libre du côté du silencieux décrit ci-dessus afin de pouvoir permettre au piston de produire un vide suffisant dans le conduit amenant l'air sursaturé d'essence et, en même temps, recevoir l'air additionnel qui est réglé par une petite manette placée sur le côté.

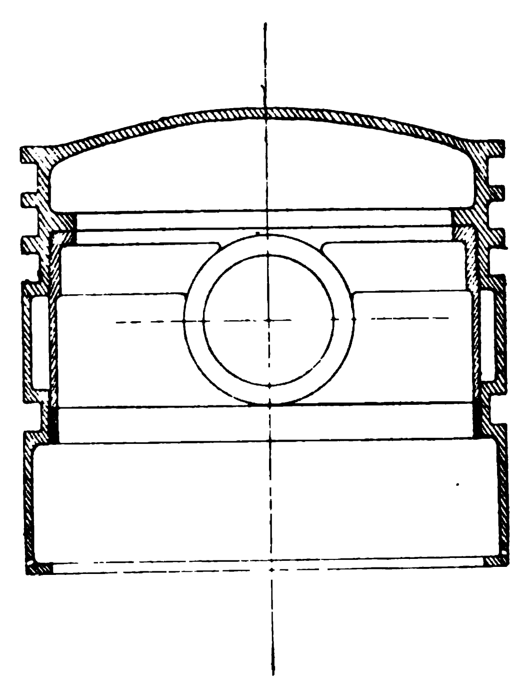


Fig. 10. — Piston des aéromoteurs permettant le réglage de la compression.

Carburation. — Le carburateur se trouve très notablement simplifié et diminué de poids. Il se compose d'un simple gicleur et d'un flotteur à niveau constant; la tuyauterie est de faible section, étant donné qu'il ne circule dans ce tube que de l'air sursaturé d'essence, impropre, par conséquent, à la combustion, et qui ne devient mélange tonnant qu'au moment de l'utilisation, par suite d'une addition d'air à l'admission, comme il est dit ci-dessus (*Admission*).

On peut se rendre compte, par l'examen de ces dispositifs, combien ils contribuent à la légèreté du moteur tout en lui procurant tous les avantages d'une distribution par soupapes commandées.

La figure 7 représente un groupe de ce moteur léger et d'un propulseur de la puissance de 10 à 12 HP et du poids de 25 kg y compris l'hélice propulsive; le refroidissement du moteur est obtenu par l'utilisation du courant d'air de l'hélice.

En effet, le courant d'air produit par une hélice décrit un tronc de cône qui se dirige vers le centre de propulsion et ce à une distance déterminée. En plaçant le moteur et l'hélice à la distance convenable, on obtient une circulation d'air assez active autour du cylindre pour éviter l'échauffement.

Le moteur de ce groupe aéro-propulseur, comme je pourrais l'appeler, est à deux cylindres en V; chacun des cylindres est désaxé par rapport à l'axe général, ce qui a pour résultat de donner beaucoup plus de douceur dans le fonctionnement du moteur. La puissance étant de 10 à 12 ch, on peut se rendre compte que c'est de beaucoup l'un des moteurs les plus légers qui existent à ce jour pour un groupe propulseur *complet en ordre de marche*, refroidissement compris, puisqu'il ne pèse que 25 kg.

Aéromoteur de 100 ch *(fig. 9, Pl. 149, et fig. 11).*

Dans le cas de l'aéromoteur de 100 ch, les cylindres sont disposés par deux groupes de quatre, pour réduire l'encombrement à son minimum suivant figure 11 ci-jointe. Cette disposition présente non seulement l'avantage d'assurer un refroidissement des plus pratiques, mais encore d'augmenter la souplesse du fonctionnement, le nombre des temps moteurs par seconde étant plus élevé, de sorte que, dans bien des cas, le volant peut être supprimé, l'hélice du ventilateur étant grandement suffisante.

D'autre part, l'équilibrage est beaucoup plus régulier.

Sous l'aspiration produite par le ventilateur tournant dès que le moteur est en marche et déplaçant l'air dans le sens des flèches indiquées sur la figure ci-contre, l'air froid extérieur appelé à l'intérieur de l'enveloppe se précipite en un courant rapide par les « fenêtres » sur les parois chaudes et les maintient à la température convenable pour le bon fonctionnement du moteur.

Ce dispositif de refroidissement est très énergique et d'autant plus efficace qu'on peut le répartir d'une manière simple et rationnelle sur les surfaces plus ou moins chaudes, par un choix

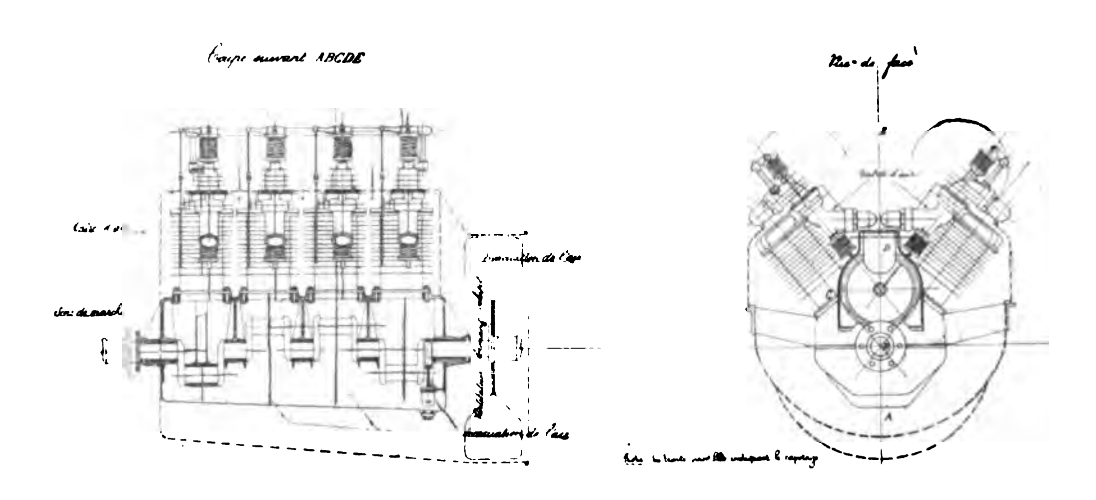


Fig. 11. — Ensemble d'un aéromoteur de 100 HP.

judicieux des grandeurs et des emplacements des fenêtres faites en vue de la meilleure utilisation de l'air.

Soupapes d'échappement. — Des dispositions spéciales ont été prises en vue d'éviter les températures inégales des cylindres pouvant entraîner des efforts dissymétriques ou le gauchissement des organes du cylindre.

Soupapes d'admission commandées. — Ces soupapes sont disposées contre le cylindre afin d'abaisser autant que possible la température du cylindre à l'endroit où le piston exécute sa course.

Cylindres. — Les cylindres à ailettes sont entièrement pris dans une masse d'acier homogène, d'une qualité spéciale facilitant le frottement des surfaces.

Certaines dispositions sont prises pour éviter la transmission de la chaleur dans le métal et, d'autre part, à l'extérieur, certains procédés nous permettent de faciliter l'évacuation des calories en excès.

Pistons. — Les pistons sont pris dans un métal plus doux; ils sont usinés partout, ce qui permet d'obtenir une très grande légèreté.

Les portées de l'axe du piston font corps avec un anneau qui s'adapte au piston et permet, par une variation de position, de régler le volume de la chambre de compression.

Culasses. — Les culasses et les pipes d'échappement sont à ailettes, en fonte, et sont fixées solidement aux cylindres par des boulons.

Elles possèdent une grande surface de refroidissement répondant bien aux exigences de cette partie la plus chauffée du moteur.

Un dispositif spécial des bielles appliqué à ce moteur a donné les meilleurs résultats au point de vue de la répartition des efforts : il annule en grande partie les efforts dus à l'obliquité de ces bielles.

Ce dispositif permet de placer les cylindres en V deux à deux, dans un même plan transversal, tout en ayant de très grandes portées de coussinet, ce qui est indispensable pour avoir des moteurs d'un fonctionnement durable.

On pourra se rendre compte d'après l'examen de l'épure (*fig. 12*) que, par suite de la disposition adoptée pour les bielles, on arrive à supprimer presque complètement les réactions latérales sur les cylindres. Une bielle principale porte un maneton sur lequel est montée la bielle du cylindre faisant face au premier. Les explosions dans le second cylindre ayant lieu pendant la période de détente dans celui correspondant, il s'ensuit que les efforts s'exerçant sur la bielle secondaire diminuent ceux dus à l'obliquité de la bielle principale. Pendant les autres temps du cycle, les mêmes effets ont lieu. Les frottements sont donc diminués à l'avantage du rendement du moteur.

Une courbe représentative des efforts à tout instant permet de se rendre compte de leur valeur.

En désaxant le cylindre par rapport à l'axe du vilebrequin, on arrive à diminuer la longueur des bielles et, par suite, le poids de l'aéromoteur, comme on peut s'en rendre compte d'après l'examen de la figure du moteur de 10 HP.

Vilebrequin. — Le vilebrequin à quatre coudes repose sur cinq paliers à longue portée pour éviter de trop grandes pressions sur les coussinets.

Cet arbre porte à chacune de ses extrémités un plateau de prise de force permettant de transmettre la puissance soit à l'avant, soit à l'arrière.

Arbre à cames et commandes de soupapes d'admission et d'échappement. — Un seul arbre à cames commande les soupapes. Les soupapes d'échappement sont commandées par des tiges travaillant à la traction grâce à un dispositif spécial.

Allumage. — L'allumage a lieu par accumulateurs et bougies. Deux bougies sont placées sur chaque cylindre.

Graissage. — Le graissage a été l'objet d'une étude particulièrement sérieuse.

Il se fait sous pression, grâce à une pompe commandée par l'arbre vilebrequin à l'aide d'un excentrique.

Cette pompe, qui se trouve en charge dans le carter, a son fonctionnement basé sur les différences de pressions exercées sur les deux faces d'un tiroir. Ce principe a permis d'établir un appareil extrêmement léger et d'un débit suffisant avec des dimensions très restreintes.

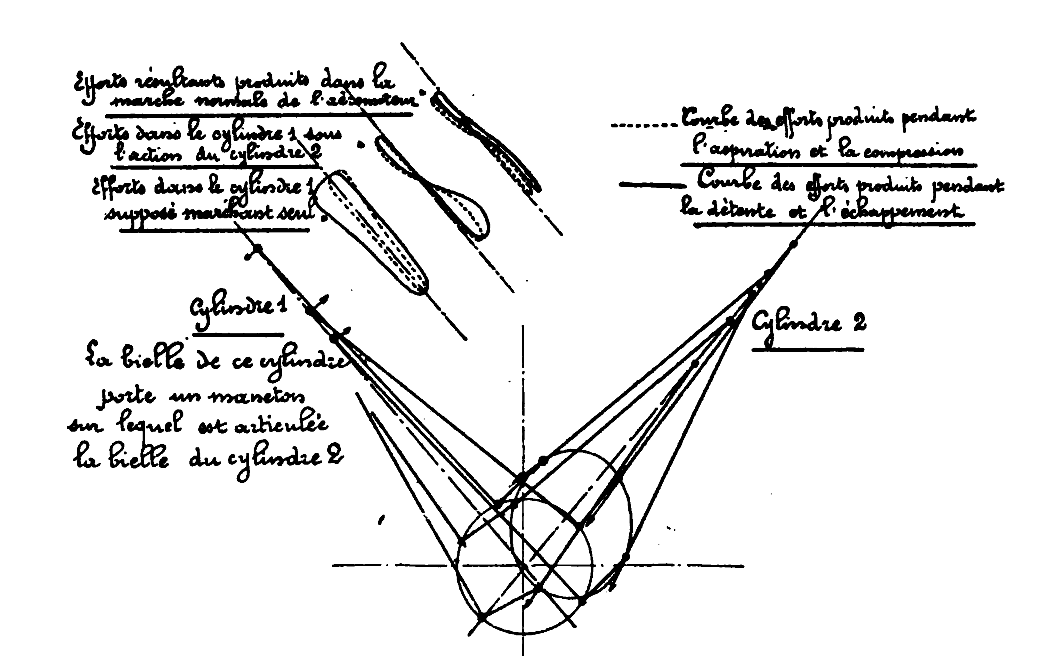


FIG. 12. — Disposition des bielles de l'aéromoteur de 100 HP.

Ventilateur. — Le ventilateur a été établi avec le concours de mon frère aîné, E. Farcot fils, constructeur à la Plaine-Saint-Denis, de façon à pouvoir obtenir la dépression et le volume d'air nécessaire pour le refroidissement de ce type de moteur.

Le travail absorbé par le ventilateur est notablement inférieur à l'augmentation de rendement thermique obtenu par le moteur, fonctionnant à des températures supérieures au moteur à circulation d'eau.

Aéromoteurs pour automobiles.

Sur le principe indiqué ci-dessus, différents types d'aéromoteurs ont été établis pour les applications à l'automobile. La figure 13 représente un aéromoteur monté sur un châssis du nouveau type, d'une très grande simplicité, à changement de vitesse progressif sans engrenages, ne comportant ni cône de friction, ni chaîne.

Ce changement de vitesse, qui forme également embrayage progressif, s'appliquera heureusement aux appareils d'aviation, pour lesquels il assurera une traction sensiblement constante de l'hélice, depuis le moment du départ jusqu'à la vitesse de régime de l'appareil.

Si notre cher Collègue, M. Blériot, avait pu régler la vitesse de son hélice dans son aéroplane, il n'aurait pas eu à déplorer la chute terrible qu'il fit le 16 septembre.

Essais de l'aéromoteur de 100 ch. — Les essais qui ont été faits sur un aéromoteur de 100 ch, pendant une durée de marche de plusieurs heures consécutives, ont permis de constater des puissances variant entre 90 et 110 ch, à 1 200 tours.

La puissance a été enregistrée en mettant sur un châssis mobile le moteur actionnant des pales de grandes dimensions permettant d'absorber la puissance totale du moteur.

Cette puissance a été enregistrée par la valeur de la réaction produite à une cote de L = 0,716 m de l'axe du châssis mobile; L étant déterminée d'après la formule :

$$T = \frac{2\pi L n P}{60 \times 75}.$$

Si dans cette formule on admet pour L une valeur

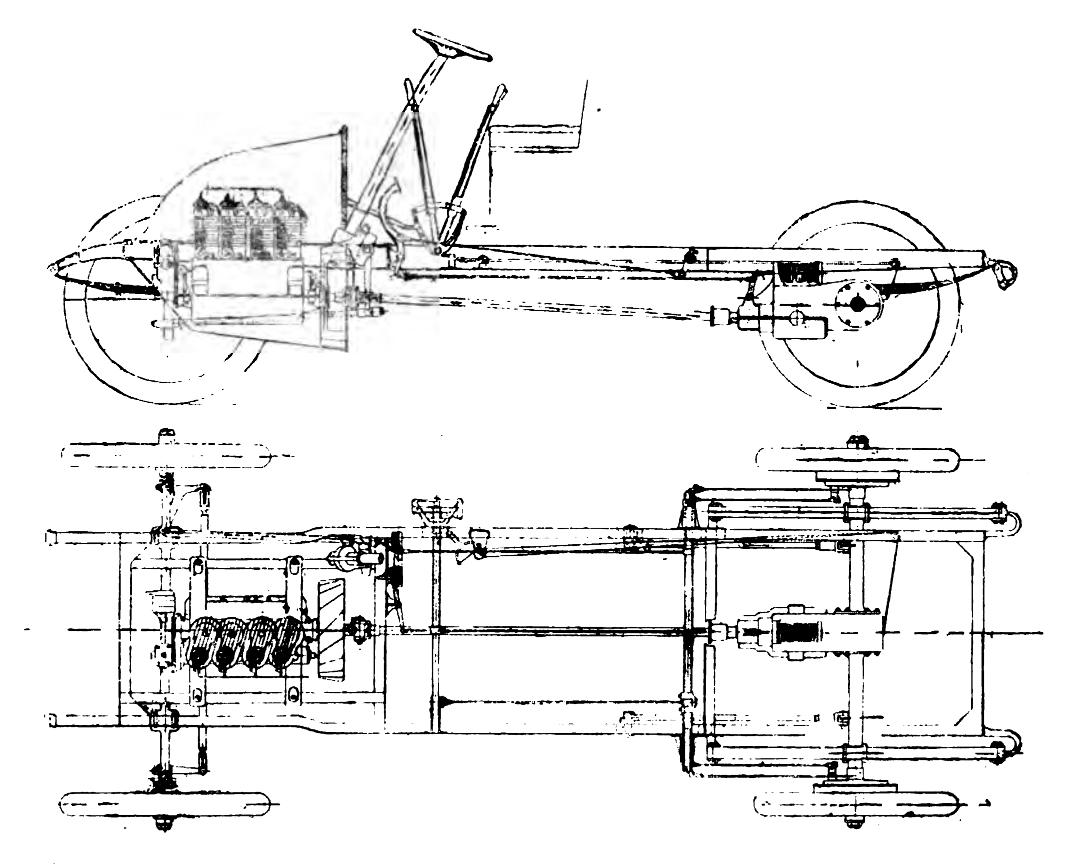


Fig. 13. — Ensemble de voiture avec aéromoteur, embrayage et changement de vitesse progressif, sans engrenages, chaînes et cônes de friction.

$L = \frac{60 \times 75}{2\pi \times 1\,000} = 0{,}716$ m, on obtient la transformation suivante de la formule fondamentale

$$T = \frac{Pn}{1\,000},$$

ce qui permet de déterminer à tout instant la puissance du moteur, en multipliant le poids P à un bras de levier L = 0,716 m, par le nombre de tours lu au tachymètre et en divisant le résultat par 1 000.

Mise en marche automatique. — Un moteur d'une puissance aussi importante m'a mis dans l'obligation d'imaginer un appareil de

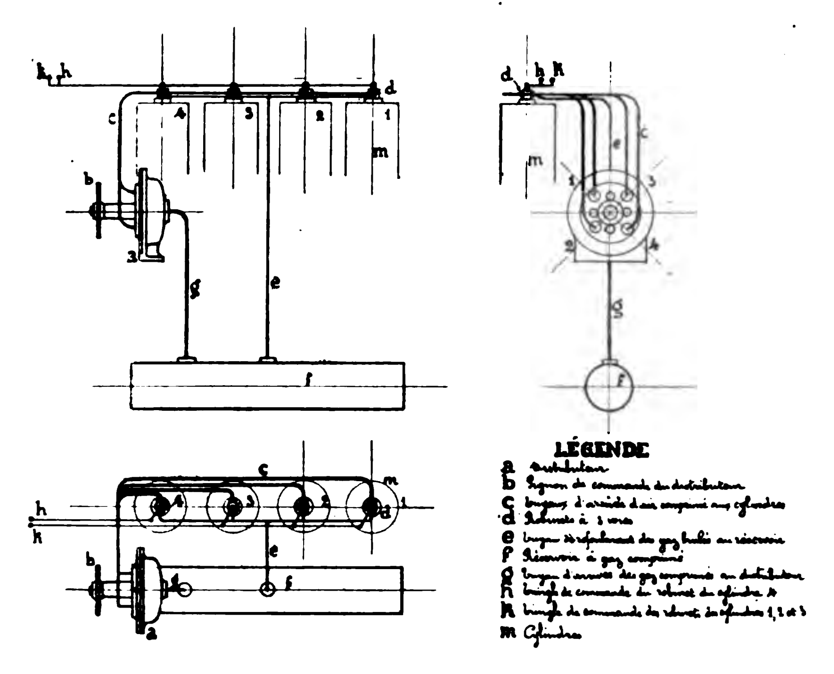


Fig. 14. — Mise en marche automatique.

mise en marche automatique qui a donné d'excellents résultats tout en étant d'un poids extrêmement réduit. Cet appareil permet de mettre en marche progressivement un moteur de 100 ch, par la simple manœuvre d'un robinet de faible dimension.

Les aéromoteurs, par suite de leurs qualités nombreuses, pa-

raissent appelés à jouer un rôle important dans l'avenir, surtout dans l'aviation, en raison de leur poids qui varie de 1,80 kg à 2,50 kg par cheval en *ordre complet de marche*.

La suppression, dans l'*aéromoteur*, des accessoires nécessaires au moteur à circulation d'eau, permet d'établir des organes robustes et de bonnes portées d'arbres, et de marcher très longtemps sans arrêt.

Ils trouveront encore leur application :

Dans le tourisme, car leur réglage sera à la portée de tous par suite de leur simplicité ;

Dans les pays chauds où l'approvisionnement d'eau est souvent plus difficile que que celui de l'essence motrice;

Dans les pays froids où la gelée n'est plus à craindre, ce qui permet de réaliser des traineaux à hélice ou à propulseur quelconque ;

Dans les canots et surtout dans les hydroplanes, cas particulier de la navigation, où l'alimentation en eau ne peut être qu'intermittente.

Dans le courant du mois prochain, à l'Exposition de l'Automobile, il sera facile à chacun de nos Collègues d'examiner en détail ces aéromoteurs.

NOTICE NÉCROLOGIQUE

SUR

Michel Nicolaïewitch GHERCÉVANOFF

PAR

M. V. E. de TIMONOFF (1)

Le 19 mai (2 juin) est mort, à Saint-Pétersbourg, M. Ghercévanoff, Conseiller privé actuel au service de Sa Majesté l'Empereur de Russie, Curateur Honoraire de l'Institut des Voies de Communication, *Membre d'Honneur de la Société des Ingénieurs Civils de France* depuis 1890, Commandeur de la Légion d'honneur.

Ayant fait mes études à l'Institut des Voies de Communication pendant les premières années du directoriat de M. Ghercévanoff, j'ai eu la bonne fortune, pendant toute ma carrière scientifique et administrative, de travailler sous sa direction, et d'être lié à lui par des liens de profonde affection et d'estime mutuelle. Je crois donc de mon devoir de dédier ces quelques lignes à sa mémoire, et d'y exprimer avec quelques données biographiques toute mon estime et tous les regrets que nous cause la perte que nous venons d'éprouver.

Michel Nicolaïewitch Ghercévanoff est né en 1830. En 1851, il sort de l'École des Ingénieurs Militaires (actuellement École et Académie Impériale du Génie). Après avoir servi quelque temps dans la forteresse de Kiew, M. Ghercévanoff est envoyé en 1856 à l'étranger, pour se préparer à la carrière pédagogique à l'École des Ingénieurs. A partir de 1857, il y remplit les fonctions de répétiteur et professeur adjoint, chargé du cours de Construction.

En 1862, tout en continuant son service à l'Académie des Ingénieurs, il est attaché à la personne du célèbre général Todtleben. En 1868, sur l'invitation du baron Nicolaï, directeur au

(1) Membre d'Honneur de la Société des Ingénieurs Civils de France, Professeur à l'Institut des Ingénieurs des Voies de Communication, Directeur de la Statistique et de la Cartographie au Ministère des Voies de Communication.

Service du Gouverneur général au Caucase, il occupe le poste d'inspecteur en chef des Constructions civiles dans ce pays, poste qu'il occupe durant vingt-cinq ans. Sous la direction de M. Ghercévanoff, on a construit au Caucase plus de 500 verstes de routes-chaussées stratégiques. De nombreuses questions se rapportant au développement des stations balnéaires, des ports, de l'irrigation, des chemins de fer, des routes, de la colonisation, du cadastre, et bien d'autres, doivent leur naissance et leur développement à l'énergie de M. Ghercévanoff.

En 1883, ayant été nommé à la direction de l'Institut des Ingénieurs des Voies de Communication, M. Ghercévanoff s'efforce de faire correspondre le programme de cette École aux progrès de la science et de la technique contemporaines, et surtout aux exigences de la carrière pratique de l'Ingénieur.

C'est son initiative qui provoque la publication des Cours sur tous ou presque tous les objets d'enseignement, de même que l'apparition du *Recueil de l'Institut des Voies de Communication.*

M. Ghercévanoff propose de créer des *Aide-Ingénieurs* analogues aux *Conducteurs des Ponts et Chaussées* en France. Le général Possiett, alors Ministre des Voies de Communication, fait approuver un projet de loi correspondant, et il existe maintenant en Russie, grâce à M. Ghercévanoff, un corps nombreux de Conducteurs des Ponts et Chaussées, dits *techniciens.*

En 1885, M. Ghercévanoff est nommé Vice-Président, sous la Présidence de M. Fadéséff, de la *Commission pour la création des ports de commerce.* Cette institution, dans un laps de temps relativement court, remet en ordre et en activité les principaux ports commerciaux de la Russie. C'est également en 1885 que fut confiée à M. Ghercévanoff la direction du *Journal du Ministère des Voies de Communication.*

En dehors de son service, M. Ghercévanoff donne une grande partie de son temps et de son travail à la création et au développement de la *Société Technique Russe*, et à la première de ses sections en province, c'est-à-dire celle du Caucase, section dont il est le Président. C'est à lui aussi qu'appartient l'idée de la *Commission de l'Enseignement technique*, dépendant de la susdite Société, et dont il est élu Vice-Président, à son arrivée à Saint-Pétersbourg, poste qu'il occupa jusqu'en 1892.

La plus grande partie des travaux scientifiques de M. Ghercévanoff a trait à l'art de l'Ingénieur, et surtout à l'hydraulique; le reste se rapporte aux questions pédagogiques. Ses travaux ont

paru dans la *Revue technique du Génie*, dans le *Journal du Ministère des Voies de Communication*, dans les *Mémoires de la Société Impériale technique russe*. Plusieurs de ses articles ont paru dans le *Journal de Moscou*, dans le *Caucase*, etc. Les plus remarquables de ses travaux sont : *Le Cours de Constructions Maritimes*, le premier paru en Russie, traitant de l'art de l'Ingénieur maritime (prix de Demidoff). Puis viennent :

Essai sur l'état de l'irrigation en Transcaucasie; Sur l'hydrographie du Caucase; Sur l'irrigation des steppes au Midi de la Russie; Un projet de réseau de voies ferrées principales pour le Caucase, et d'autres encore.

Un des grands mérites de M. Ghercévanoff, est d'avoir su, grâce à la diversité de ses connaissances, et à sa productivité en matière de littérature technique, grouper autour de lui un cercle considérable d'Ingénieurs militaires et d'Ingénieurs des Voies de Communication, auxquels nous sommes redevables de l'apparition de manuels et de cours facilitant l'étude de l'art de l'Ingénieur, et de recherches détaillées sur tous les travaux qui se font en Russie.

M. Ghercévanoff occupa ensuite le poste de Directeur de l'Institut des Voies et Communications pendant dix-sept ans, et, pendant son directoriat, cet Institut a donné à la Russie plus de 2 000 Ingénieurs, qui ont conservé de leur chef, des souvenirs de profonde reconnaissance et de sincère estime. Ces sentiments se sont manifestés par la fondation d'un Prix Ghercévanoff, pour les ouvrages techniques publiés en langue russe sur diverses questions de l'art de l'Ingénieur et surtout sur l'hydraulique appliquée. Sa Majesté l'Empereur a daigné conférer à M. Ghercévanoff, après sa retraite de l'Institut, le titre de Curateur Honoraire de cet établissement, distinction tout à fait exceptionnelle, cette fonction honorifique ayant été créée spécialement pour M. Ghercévanoff. En même temps, M. Ghercévanoff occupa le poste de membre au Conseil du Ministère des Voies de Communication, où sa grande connaissance des diverses questions techniques concernant les Voies de Communication de la Russie a trouvé les plus heureuses applications.

Pendant l'année qui précéda sa mort, M. Ghercévanoff s'était adonné avec énergie aux travaux de préparation du XIe Congrès International de Navigation. Membre de la Commission permanente de l'Association Internationale des Congrès de Navigation, depuis la naissance de cette institution, M. Ghercévanoff était

tout naturellement désigné à occuper le poste de Président de la Commission d'organisation du XI[e] Congrès, lorsqu'il fut décidé que ce Congrès se tiendrait en Russie. Il se réjouissait énormément de pouvoir enfin recevoir à Saint-Pétersbourg ses nombreux amis étrangers avec lesquels il s'était intimement lié au cours de sa carrière scientifique et pendant ses voyages et missions.

Il faisait tous ses efforts pour que le XI[e] Congrès fût digne de ses prédécesseurs, et c'est surtout à l'initiative de M. Ghercévanoff qu'est dû un très important élargissement du programme des travaux du Congrès, qui comprendra, pour la première fois, des questions relatives à l'irrigation et à la sécurité de la navigation maritime.

Le caractère franc, loyal, généreux, de M. Ghercévanoff, joint à une grande simplicité de cœur et à une rare courtoisie, lui ont valu l'affection de tous ceux qui l'ont connu, et sa mort a été vivement ressentie dans notre pays.

CHRONIQUE

N° 333.

SOMMAIRE. — Les pressions élevées dans les locomotives *(suite et fin)*. — Les chemins de fer vicinaux en Belgique. — Réparation d'arbres cassés. — Production de l'énergie électrique par machines à vapeur en Prusse. — Influence des dépôts sur la transmission de la chaleur dans les tubes de chaudières. — Scies mécaniques pour l'exploitation des forêts. — La production agricole du monde.

Les pressions élevées dans les locomotives *(suite et fin)*. — Les conclusions auxquelles nous sommes arrivés précédemment sont basées sur des considérations dans lesquelles l'économie de combustible joue le rôle capital. On conçoit très bien que, dans le fonctionnement d'une chaudière, on puisse avoir en vue ou la marche la plus économique, ou le développement de la puissance maxima sans avoir égard à la consommation de combustible. C'est la première seule qu'on a en vue dans cette étude. Il est bon, d'ailleurs, de rappeler que les chiffres qui ont été donnés plus haut comme représentant les bénéfices obtenus des accroissements de pression doivent être considérés comme des valeurs maxima, pour une double raison : d'abord parce qu'ils proviennent d'essais faits sur une locomotive maintenue toujours dans le meilleur état possible d'entretien, et ensuite parce que cette locomotive était, par son fonctionnement dans un laboratoire, affranchie des résistances spéciales propres à la marche sur une voie ferrée, résistances dont il faudrait tenir compte pour ramener le cas à celui d'une locomotive en service courant.

Il y a encore autre chose. L'expérience a établi que, si on a à développer une puissance donnée, une moindre vaporisation par unité de surface de chauffe est économique et cette considération rend avantageux l'emploi d'une chaudière largement proportionnée. Le fait est positif, que la chaudière soit propre ou encrassée, que la réduction de la vaporisation est favorable au point de vue économique.

Tout au plus une plus grande chaudière nécessitera un peu plus de dépense d'entretien, mais la différence est minime et, en tout cas, bien moindre que celle qui correspond à des chaudières fonctionnant à très haute pression.

Si on part d'une pression de 8,5 kg, un accroissement dans le poids du générateur de 5 0/0 destiné à permettre l'emploi d'une plus forte pression augmentera l'effet utile de 8,5 0/0, tandis que, s'il est utilisé pour augmenter les dimensions de la chaudière, il ne fera gagner que 3 0/0 au plus. Dans ce cas, l'avantage de l'élévation de la pression est indiscutable.

Si nous partons d'une tension de 11,4 kg, les avantages respectifs de l'élévation de la pression et de l'accroissement des dimensions de la chaudière sont à peu près équivalents.

A la pression de 12,8 kg, on trouve un avantage de 1/2 0/0 environ à augmenter les dimensions de la chaudière, mais, en pratique, la différence est insignifiante. A 14 kg, l'avantage est plus marqué et à la pression de 15,6 cet effet s'accentue. On peut affirmer, dès lors, qu'il n'y a aucune raison valable pour dépasser cette dernière pression.

Le professeur Goss termine son important travail par les conclusions suivantes :

1° Les essais qui en font l'objet, entrepris pour étudier le fonctionnement d'une locomotive d'un type donné dans diverses conditions de travail, de vitesse et de pression, ont donné pour 100 essais les résultats dont voici les conclusions;

2° Ces conclusions s'appliquent exclusivement au fonctionnement à simple expansion avec vapeur saturée. Il est à remarquer que le régulateur était toujours entièrement ouvert;

3° Les dépenses de vapeur et de combustible par unité de puissance (cheval indiqué) et par heure, dans les conditions normales de marche, ont été constatées comme suit :

	Par cheval indiqué et par heure	
Pression.	Vapeur.	Charbon.
—	—	—
8,5 kg	13,18 kg	1,74 kg
10.0	12,54	1,66
11,4	12,05	1,60
12,8	11,78	1,57
14,0	11,55	1,54
15,6	11,37	1,52
17,0	11,19	1,50

4° On voit, par les chiffres précédents, qu'à mesure que la pression augmente, l'avantage résultant de cette augmentation devient de plus en plus faible. Ainsi, de 11,4 à 14 kg, on gagne environ 1/2 kg de vapeur par cheval-heure, tandis qu'entre 14 et 17 kg on n'économise plus que moins de 0,04 kg, valeur à peu près insignifiante;

5° Un accroissement de pression de 11,4 à 14 kg fait gagner environ 0,06 kg de combustible, tandis qu'en passant de 14 à 17 on n'économise que la valeur presque nulle de 4 g;

6° Dans les conditions du service ordinaire des locomotives, l'avantage à retirer de l'emploi de pressions plus élevées dépend, dans une large mesure, de l'état d'entretien de la machine. Dans les essais où les résultats ont été obtenus, cet entretien était excellent. S'il est médiocre, on peut s'attendre à voir disparaître entièrement l'avantage indiqué;

7° Les difficultés qu'on rencontre dans le maintien en bon état de la chaudière et du mécanisme croissent avec la pression;

8° Les chiffres donnés ci-dessus fournissent une mesure exacte pour apprécier l'avantage qu'il y a à augmenter les dimensions de la chaudière. Pour la production d'une puissance déterminée, toute augmentation de ces dimensions se traduit par un accroissement de l'effet utile sans accroissement de l'entretien et avec réduction des chances d'acci-

dents. C'est une source d'améliorations plus sûre et exempte d'aléas que l'accroissement de la pression ;

9° Si pour certaines raisons, par exemple l'adhérence, on a besoin d'accroître le poids d'un type de locomotive, il est préférable d'obtenir cet accroissement par celui des dimensions de la chaudière plutôt que par l'augmentation de la pression ;

10° Si on prend pour pression normale celle de 12,8 kg, par exemple, et qu'on puisse compter sur un entretien très soigné, il n'y a aucun intérêt à élever la pression et on devra consacrer les augmentations pos sibles de poids à celles des dimensions du générateur ;

11° Si on ne peut compter sur un entretien de premier ordre, on devra tenir la pression au-dessous de 12,8 kg ;

12° Si les eaux d'alimentation ne sont pas de bonne qualité, il est prudent de ne pas dépasser une pression de 12,8 kg et même de se tenir en dessous ;

13° Une locomotive à simple expansion employant de la vapeur saturée fonctionnant d'une manière entièrement satisfaisante et économique avec de la vapeur à 11 ou 12 kg de pression, on ne voit, au point de vue de la consommation, aucune raison d'employer des pressions dépassant ou même atteignant 14 kg.

Il nous parait intéressant de faire suivre ce résumé du rapport du professeur Goss des observations qu'il suggère au *Railway Age*. Ce journal se demande quelle influence ce travail pourra exercer à l'avenir sur la pratique de la construction des locomotives. Déjà quelques lignes américaines témoignent d'une réaction contre l'élévation excessive des pressions. Quant à la préférence à donner à une augmentation des éléments actifs des chaudières, la question a été déjà étudiée (1) et on peut dire qu'actuellement tous les constructeurs de locomotives donnent aux chaudières les dimensions les plus larges que comporte le type de la machine. On est arrivé aujourd'hui à imposer aux rails des charges de 27 000 kg par essieu moteur et il parait impossible d'aller au delà sans compromettre l'existence des voies. Les aciers en usage pour la fabrication des rails sont arrivés à la limite de la résistance et les métallurgistes envisagent déjà la nécessité de recourir à de nouveaux métaux. On a constamment augmenté le poids des locomotives pour en obtenir une plus grande puissance et il n'est pas dans la tradition des chemins de fer américains de revenir en arrière. Toute mesure dont le résultat serait de réduire la puissance développée par les locomotives n'aurait aucune chance de prévaloir.

Si l'objection la plus sérieuse qu'on puisse faire à l'emploi des hautes pressions dans le type actuel de chaudières de locomotives est celle qui repose sur les difficultés qu'on éprouve avec des eaux de mauvaise qualité, il serait certainement le plus souvent avantageux d'épurer préalablement les eaux d'alimentation, on ferait ainsi disparaitre cette cause d'impossibilité d'employer des pressions de 14 kg et au-dessus.

Du moment qu'il ne saurait être question de réduire la puissance des

(1) Voir dans la *Chronique* de novembre 1898, page 444, d'intéressants renseignements sur ce sujet.

locomotives, qu'on tend, au contraire, à l'augmenter toujours et que la limite de poids est actuellement atteinte avec le type de locomotive en usage aujourd'hui, il paraît nécessaire de modifier ce type par l'adoption d'un autre système de chaudière. La solution du problème semble être dans l'adoption du générateur à tubes d'eau. Les marines militaires ont partout adopté ce générateur pour des raisons qui sont de nature à le recommander pour les locomotives, ainsi : la possibilité d'employer des pressions élevées avec sécurité et sans les fuites ou ruptures d'entretoises qu'on éprouve avec les chaudières actuelles et la réduction considérable de poids par unité de puissance.

Il est intéressant de donner quelques chiffres pour mettre en lumière la supériorité à cet égard des chaudières à tubes d'eau. Une locomotive à huit roues du type *American* avec des cylindres de 0,508 $\times$ 0,661 m et des roues de 1,981 m de diamètre pèse 60 000 kg en nombre rond, dont 15 500 kg ou 25,8 0/0 pour la chaudière. Une locomotive type *Atlantic*, à cylindres de 0,521 $\times$ 0,661 m et roues de 2,006 m de diamètre pèse, en ordre de marche, 79 700 kg, dont 20 700 kg ou 26 0/0 pour la chaudière. Enfin, une machine type *Decapod* pesant en service 118 000 kg a une chaudière du poids de 39 000 kg, soit 33 0/0 du total. On voit par ces chiffres que, plus la machine est pesante, plus est grande la proportion de la chaudière.

Le générateur de la machine du type *Atlantic* peut développer au maximum une puissance de 1 500 ch sur les pistons, le poids de la chaudière ressort ainsi à 13,8 kg par ch. La machine type *Decapod* ne développe probablement pas plus de 1 600 ch indiqués, ce qui donne pour sa chaudière un poids de 24,4 kg par cheval.

Les avantages de la chaudière à tubes d'eau, sous le rapport de la légèreté et de la résistance, ont trouvé une application remarquable dans les automobiles où cette chaudière supporte des pressions allant à 40 kg et des surchauffes de 140 degrés centigrades. Un générateur de ce genre pesant 150 kg développe 45 ch, ce qui fait à peu près 3,5 kg par cheval. Dans l'application à la marine, on peut citer des navires de guerre japonais dont les chaudières marchant à 20 kg de pression ne pèsent que 4,5 kg par cheval, soit du tiers au quart de la valeur correspondante des chaudières de locomotives.

On peut citer comme exemple de l'application de la chaudière à tubes d'eau aux locomotives le générateur Robert. Il pèse 8 100 kg pour une puissance de 800 ch, ce qui donne très sensiblement 10 kg par cheval. On peut en conclure que l'emploi des tubes d'eau permet de réduire de 50 0/0 le poids d'une chaudière de locomotive sans qu'on ait à se préoccuper de la pression. On emploie aujourd'hui de la vapeur surchauffée à une température de 320 degrés, température que n'atteindra jamais celle de la vapeur saturée aux plus hautes pressions, qu'on pourrait être tenté d'employer sur les locomotives.

On pourra dire que peut-être l'introduction générale de la traction électrique rendra inutiles ces tentatives de développement de la locomotive à vapeur dans le sens de la puissance. Il semble pourtant que celle-ci a encore du temps devant elle avant de céder la place à sa rivale et qu'il n'est pas superflu de chercher dans quel sens elle peut encore être améliorée.

Les chemins de fer vicinaux en Belgique. — La Société nationale des Chemins de fer vicinaux a obtenu l'an dernier (1905) des concessions pour dix-neuf lignes nouvelles comprenant en tout 373,3 km, ce qui porte le total des lignes concédées au chiffre de cent trente-neuf et la longueur totale à 3430 km. Les chiffres correspondants étaient pour 1902 de cent dix et 2609 km.

Dans ce chiffre, il y a cent quinze lignes avec une longueur de 2500 km en exploitation, ce qui représente près de 5 km par 10000 habitants ou 11,6 km par 10 ha. Il y a environ 477 km à l'écartement de 1,067 m; à peine 37,3 km à l'écartement normal et le reste à la voie de 1 m. Il y a 2398 km exploités par locomotives à vapeur et 97 km par l'électricité.

Le capital de ces chemins de fer s'élève à la somme de 196830000 f, dont l'État a fourni 39,8 0/0, les provinces 28,4, les communes 30,2 et d'autres 1,7 0/0.

Le matériel roulant consiste en 477 locomotives, 2 voitures à vapeur, 1185 voitures mixtes de première et deuxième classe, 52 voitures freins. 281 fourgons à bagages, 2915 wagons à haussettes, 589 wagons fermés, 374 wagons plats et 47 wagons divers. Pour les lignes électriques, il y a 127 voitures motrices, 107 voitures fermées remorquées, 36 voitures ouvertes et 6 wagons à marchandises.

En ce qui concerne la sécurité de ces chemins de fer, les chiffres suivants donnent une idée exacte de la situation.

En 1904, le nombre total de kilomètres parcourus était de 15145888 et le nombre total d'accidents comprenait 37 tués et 46 blessés, comprenant :

15 tués et 7 blessés pour cause de suicide, ivresse ou surdité ;

4 tués et 1 blessé endormis sur la voie;

9 tués et 13 blessés pour avoir traversé la voie devant le train. 1 seul agent fut tué et 7 furent blessés pour être montés sur le train en marche ou en être descendus; 3 voyageurs furent tués et 7 furent blessés pour la même raison et 4 autres voyageurs furent blessés dans une collision.

Tout compris, il y a eu 1 tué pour 2440000 km parcourus et 1 blessé pour 3040000 km parcourus.

On a payé les dividendes suivants :

A l'État, 3,03 0/0, aux provinces de 1,877 à 3,65 0/0, aux communes 3,25 0/0 et aux actionnaires 4,73 0/0, l'intérêt moyen sur tout le capital étant 3,21 0/0. Ce résultat satisfaisant n'a pu être obtenu qu'en réduisant les dépenses de premier établissement au minimum et en exploitant les lignes avec la plus stricte économie.

Les voies de 1 m et de 1,067 m coûtent en moyenne, construites et équipées, 47635 f par kilomètre. La voie normale coûte 65122 f et les lignes électriques 142389 f par kilomètre.

Les recettes totales se sont élevées à 13534156 f, dont 9705372 f provenant des voyageurs, 46128 f des petits colis, 3572842 f des marchandises et 209813 f de recettes diverses.

Les lignes à voyageurs seulement, comprenant la plupart des lignes électriques, sont exploitées à 71,59 0/0 de recettes; les lignes qui transportent les marchandises sont exploitées à 68,55 0/0 de recettes, la moyenne générale étant de 67,57 0/0.

Pour les lignes servant uniquement au transport des voyageurs, les recettes et dépenses sont par jour-kilomètre de 67,94 f et 48,64 f respectivement et par train-kilomètre de 0,68 f et 0,49 f, soit par kilomètre et par an de 24 865 f et 17 801 f.

Pour les lignes transportant des voyageurs et des marchandises, ces chiffres sont respectivement :

Par jour-kilomètre. . . .	13,04	et	8,67
— train	0,9	et	0,65
— kilomètre de ligne . .	4711,00	et	3174,00

Les chemins de fer vicinaux sont répandus maintenant à travers toute l'étendue du royaume. Nous extrayons ce qui précède des *Annales de l'Association des Ingénieurs de Gand.*

Réparation d'arbres cassés. — Un correspondant du *Scientific American* envoie à ce journal des renseignements intéressants sur un mode très simple de réparation d'un arbre cassé. Voici les faits.

Sur une drague du Mississipi, l'arbre à deux coudes d'une machine de 250 ch tournant à 200 tours par minute s'était brisé à 0,25 m environ d'un des coudes; cet arbre avait 0,152 m de diamètre. On chercha d'abord à souder les deux parties, mais la proximité de la cassure des manivelles aurait entraîné la déformation de l'arbre et on dut renoncer à ce procédé. On se décida donc à faire faire un nouvel arbre, ce qui devait entraîner le chômage pendant au moins six semaines de la drague et de son équipage de dix-sept hommes.

On avait enlevé l'arbre cassé et on l'avait transporté à l'atelier pour en prendre les mesures en vue de la commande de son remplaçant, lorsqu'un représentant de commerce venu pour quelque fourniture, entendant parler de l'affaire, dit qu'il avait vu un accident pareil arrivé à une machine frigorifique dont l'arbre cassé avait été réparé avec succès par une méthode spéciale. Il exposa cette méthode et on l'appliqua immédiatement.

Voici comment on opéra. L'arbre cassé fut mis sur le tour, on coupa carrément les parties brisées, ce qui eut pour effet de raccourcir l'arbre de 0,15 m environ, mais, la disposition de la plaque de fondation permettant de rapprocher le palier extrême de cette quantité, c'était sans inconvénient (1). On prit dans la ferraille un bout d'acier rond qu'on tourna sur 0,10 m de diamètre et 0,25 de longueur et sur lequel on pratiqua un filet de vis au pas de 6 mm. Chaque partie de l'arbre fut forée au bout au même diamètre sur 0,125 m de profondeur et on y tarauda le même filet de vis; puis, lorsque les pièces furent ainsi préparées, on vissa sur l'une le bout fileté, sur lequel on vissa ensuite l'autre morceau de l'arbre. On avait eu soin de mouiller d'eau salée les parties en contact, pour que la rouille leur donnât encore plus d'adhérence.

L'exécution de cette réparation demanda l'après-midi et une partie

(1) Il semble qu'on pourrait conserver à l'arbre sa longueur primitive en plaçant entre les deux parties coupées carrément une pièce annulaire de la longueur voulue que traverserait le bout fileté de jonction.

de la nuit et on put remettre l'arbre en place le lendemain matin et faire fonctionner la drague le même jour. Il y a dix-huit mois que cette réparation a été faite et l'arbre n'a jamais donné aucun signe de faiblesse ; il est impossible de distinguer la jonction. On a eu, au bout de deux mois, l'arbre commandé comme pièce de rechange, mais on ne s'en est jamais servi.

Il semble qu'en dehors des cas de réparations ce mode de jonction pourrait être employé avantageusement pour réunir des bouts d'arbres. Il est plus simple et plus économique que l'accouplement par brides boulonnées ; il parait inférieur théoriquement parce que le rayon de résistance est plus faible, mais il doit avoir plus de force qu'on n'est au premier abord porté à le croire et il serait intéressant de faire quelque expérience pour connaître la résistance à la torsion de cet assemblage par rapport à celle d'un arbre plein.

Il semble bien qu'au point de vue de la résistance à l'effort de torsion, un arbre ainsi réparé doit offrir une force suffisante ; on a soin, bien entendu, de disposer le filetage de telle sorte que la pièce de jonction tende à se visser dans le sens ordinaire de la rotation de l'arbre et le frottement engendré par le serrage entre les deux faces planes des pièces apporte aussi son contingent de résistance. Mais, si ce système peut convenir pour une réparation, il semble avoir contre lui de grosses objections comme assemblage permanent de lignes d'arbre. Une des plus graves est la difficulté du démontage qui exige l'enlèvement de tous les arbres dont les bouts doivent pouvoir être écartés les uns des autres pour retirer les pièces de jonction. C'est là un inconvénient très sérieux du système.

Production de l'énergie électrique par machines à vapeur en Prusse. — La Prusse étant à peu près entièrement dépourvue de chutes d'eau, on conçoit que l'on doive forcément avoir recours à la vapeur pour la production du courant électrique et il n'est pas étonnant que la quantité de vapeur produite, dans cette contrée, pour actionner particulièrement des moteurs électriques aille toujours en augmentant. Ainsi, sur un ensemble de 105 586 machines à vapeur fixes et mobiles, d'une puissance totale de 5 millions de chevaux en nombre rond, en activité en Prusse à la date du 1er avril 1905, on comptait 4 217 machines, d'une puissance totale de 672 943 ch, utilisées d'une façon permanente à la mise en mouvement de dynamos, et 1 462 machines, d'une puissance collective de 116 038 ch, actionnant simultanément des moteurs électriques et autres parmi lesquels notamment des machines-outils; 5 679 moteurs à vapeur, d'une puissance totale de 788 981 ch, servaient donc, à la date indiquée ci-dessus, à la production d'energie électrique ; ces chiffres correspondaient respectivement à 5,38 0/0 du nombre total des machines à vapeur en activité en Prusse et à 15,78 0/0 de leur puissance totale.

Au point de vue de l'utilisation de l'énergie électrique, la répartition des machines à vapeur était la suivante :

	Nombre des machines.	Puissance en chevaux.
1 Pour l'éclairage.	3 927	236 964
2 Pour actionner des moteurs . .	134	34 385
3 Pour l'électrolyse	36	7 016
4 Simultanément pour l'éclairage et la transmission de force . .	1 545	503 411
5 Simultanément pour l'électrolyse et pour l'éclairage	37	8 205
Totaux.	5 679	788 981

La majeure partie de l'électricité produite par la vapeur est, comme on le voit, consommée par l'éclairage.

On peut signaler en même temps l'importance de plus en plus grande donnée, au fur et à mesure de l'extension des installations électriques, à la puissance des machines à vapeur construites en vue de satisfaire aux besoins de ce genre d'énergie; ainsi on ne disposait, en Prusse, en 1900, que de 37 machines d'une puissance supérieure à 1 000 ch ; on en comptait respectivement 50 en 1901, 71 en 1902, 77 en 1903, 92 en 1904 et 117 en 1905. Sur ces dernières, on trouvait, entre autres, 6 machines de 2 000 ch, 6 machines de 3 000 ch, 8 machines de 4 000 et 1 machine de 5 800.

Ces renseignements sont donnés par les *Annales des Travaux Publics de Belgique* d'après le *Zeitschrift des Kön. preuss. statistischen Landesamt.*

Influence des dépôts sur la transmission de la chaleur dans les tubes de chaudières. — On sait qu'un des troubles les plus graves causés par l'emploi de mauvaises eaux dans les chaudières de locomotives est la réduction du passage de la chaleur par les parois des tubes amenée par la présence des dépôts sur ces tubes. On a fait beaucoup de recherches sur cette question et les plus récentes paraissent être celles qui ont été opérées au laboratoire de mécanique de l'Université d'Illinois.

Un aperçu sur ces recherches et leurs résultats a été donné à la réunion de mars 1907 du Western Railway Club, à Chicago, par M. E.-C. Schmidt, professeur adjoint du cours de chemins de fer à cette université.

Après avoir passé en revue les diverses recherches entreprises précédemment sur le sujet, l'auteur a exposé les expériences comparatives faites entre deux séries de tubes de mêmes dimensions et même matière, les uns propres, les autres revêtus de dépôts provenant de la vaporisation de l'eau.

Ces derniers tubes avaient été retirés de locomotives en service et on avait mesuré avec soin pour chacun l'épaisseur des dépôts tous les quinze centimètres. Le dépôt était examiné à la loupe et classé comme dur, moyen ou tendre; on en faisait l'analyse chimique pour chaque tube.

L'appareil employé dans les expériences se composait d'une longue chambre pleine d'eau dans laquelle on introduisait le tube. A une extrémité de cette chambre était ajustée une chambre de combustion en

communication avec le tube; on y brûlait du gaz. Le calorique transmis à l'eau par le tube était mesuré par le produit du poids de l'eau par l'élévation de sa température. Pour chaque série d'essais, on envoyait le gaz et l'air nécessaires à la combustion sous la même pression et en quantité sensiblement égale.

Après avoir réglé l'arrivée de l'eau dans la chambre à eau, on allumait le brûleur et on réglait l'accès de gaz et d'air. L'essai durait environ une heure; on notait à des intervalles de cinq à dix minutes les températures des gaz chauds à l'entrée et à la sortie du tube et celles de l'eau à l'entrée et à la sortie de la chambre; on pesait l'eau sortant; on trouvait ainsi la quantité de calories traversant les parois du tube en une heure.

Lorsqu'on entreprit ces expériences, l'idée prévalait que la transmission de la chaleur à travers la croûte de dépôt dépendait principalement de la nature de ce dépôt, c'est-à-dire de son épaisseur et de sa structure physique. On s'était donc attaché à déterminer avec toute la précision possible l'épaisseur et la contexture des incrustations.

On pensait pouvoir obtenir, au moins approximativement, une loi reliant la conductibilité à l'épaisseur. On fut donc très étonné de constater que, en tenant compte naturellement des erreurs possibles, il y avait bien peut-être une trace de décroissance de la conductibilité avec l'augmentation de l'épaisseur, mais sans aucune variation régulière ; de même on ne trouva aucune régularité dans la modification de la conductibilité pour les diverses natures de dépôts.

Il faut dire que les tubes expérimentés provenaient de locomotives appartenant à différentes sections et alimentées par des eaux très diverses ; les dépôts avaient donc une composition très variable. La désignation de dépôt dur, par exemple, pouvait s'appliquer à des incrustations en réalité très différentes. Les résultats ne peuvent donc pas être considérés comme positifs en ce qui concerne le rapport de la conductibilité avec la nature des dépôts. On peut seulement en déduire que la contexture des incrustations a une influence aussi importante que l'épaisseur en ce qui concerne la transmission de la chaleur. Cette conclusion s'accorde avec ce qu'on a constaté avec les substances calorifuges.

Il parait probable que des dépôts tendres et poreux retiennent contre la surface des tubes une couche d'eau ou de vapeur de faible conductivité et on serait porté à admettre que les dépôts durs et compacts, à épaisseur égale, ne s'opposent pas plus que les autres au passage du calorique. Il ne semble donc pas que la composition chimique des incrustations ait une influence directe sur la conductibilité pour la chaleur.

On pourrait donc conclure, en tant qu'on peut généraliser les faits observés, que :

1° Avec des dépôts d'épaisseur ordinaire, soit jusqu'à 3 mm, la perte dans la transmission de calorique peut varier, suivant les cas, d'une valeur insignifiante jusqu'à 10 ou 12 0/0;

2° Que cette perte croit légèrement à mesure que l'épaisseur augmente;

3° Que la contexture mécanique des incrustations a autant, sinon

plus, d'importance que l'épaisseur au point de vue de la réduction de la transmission de la chaleur;

4° Que la composition chimique, sauf dans le cas où elle modifie la structure des dépôts, n'a pas d'influence directe sur la conductibilité.

Scies mécaniques pour l'exploitation des forêts. — On a, depuis déjà quelque temps, introduit les procédés mécaniques dans l'exploitation des forêts aux États-Unis, sous forme de chemins de fer forestiers, machines à vapeur, treuils, transmissions funiculaires, etc., pour amener facilement les troncs d'arbres aux scieries; mais jusqu'ici l'abatage des arbres et leur tronçonnage se faisaient toujours à la main.

Les essais d'abatage mécanique ne paraissent pas avoir donné de bons résultats, surtout à cause des dangers que présente l'opération et des difficultés que rencontre l'installation et le fonctionnement de machines dans des forêts le plus souvent sauvages. Mais en Californie, on a réussi à débiter en tronçons les bois abattus par des moyens mécaniques assez simples.

La Macland River Lumber Company, dans le comté de Siskiyou, a fait une installation de ce genre, qui donne de très bons résultats. Les forêts qu'elle exploite, situées à la base du mont Shasta, se composent de pins et sapins de diverses essences.

Le matériel comprend une machine routière portant un compresseur et un réservoir d'air; à ce dernier est attachée une conduite flexible de 90 m de longueur, qui fournit l'air comprimé aux scies à tronçonner. Ces scies se composent d'un châssis léger terminé par un crochet qui embrasse l'arbre et qu'on serre de manière à fixer invariablement le châssis contre la pièce de bois. A une extrémité du bâti est, reposant sur deux tourillons, un cylindre à air comprimé dont le piston est attaché à la lame de scie; le va-et-vient de ce piston, sous l'action d'une distribution automatique, opère le tronçonnage de l'arbre quel que soit le diamètre de celui-ci; l'avancement de l'entaille se fait par le poids de la lame et du cylindre. Il y a trois châssis pour un seul cylindre et, pendant que la scie fonctionne, on installe les deux autres châssis à la place qu'ils doivent occuper et, lorsqu'un trait de scie est donné, on enlève le cylindre et la lame et on les pose sur un autre châssis.

Une équipe précède le matériel dont nous nous occupons pour ébrancher les arbres abattus et en dégager les abords, pour qu'on puisse installer la scie. La machine routière se déplace elle-même pour s'approcher autant qu'elle peut des arbres à tronçonner. Avec ce matériel on réalise une économie très nette de temps et d'argent. Il faut 9 hommes et la dépense journalière, tout compris, sauf les réparations, est de 125 f. La production journalière est de 125 000 à 140 000 pieds (mesure locale), et on peut arriver exceptionnellement à 160 000. Pour faire le même travail à bras d'hommes, il faudrait employer de 15 à 17 ouvriers, payés chacun 12,50 f, un ouvrier produisant en moyenne de 8 000 à 10 000 pieds. On réalise donc une économie journalière de 62,50 à 87,50 f avec l'emploi de l'air comprimé pour un débit de 125 000 à 140 000 pieds par jour. La marge est assez considérable pour couvrir les dépenses d'entretien et aussi l'intérêt et l'amortissement de l'installa-

tion, en laissant encore un bénéfice notable. Il n'y a donc pas de raisons pour que ces appareils qui semblent réussir en Californie ne se répandent pas dans d'autres régions où les conditions seraient favorables à leur emploi.

La production agricole du monde. — Le musée commercial de Philadelphie a fait dresser dernièrement des diagrammes représentant la manière dont se répartit entre les divers pays la production agricole mondiale représentée par sa partie la plus importante au point de vue de l'alimentation, les céréales. Nous croyons intéressant de donner ici, d'après les journaux américains, l'explication de ce diagramme.

C'est le froment qui vient en tête des céréales, dépassant toutes les autres tant par la quantité que par la valeur. Si on prend le chiffre moyen de la production des cinq dernières années, on trouve une quantité totale de froment de 3 160 millions de boisseaux, correspondant à un poids de 86 millions de tonnes métriques. Le boisseau ou *bushel* représente 36,35 l. Trois pays à eux seuls produisent la moitié de cet énorme chiffre savoir : les États-Unis qui figurent pour 660 millions de boisseaux, la Russie d'Europe pour 541 millions, et la France pour 328 millions. L'autre moitié est produite par les autres pays du monde dans les proportions suivantes : Inde 286 millions de boisseaux, Italie 159, Allemagne 128, Hongrie 120, Espagne 115. Certaines contrées, qui n'ont pas une grande production, exportent de fortes quantités parce que leur population et, par suite, leur consommation intérieure est faible ; ainsi l'Argentine produit 101 millions, le Canada 91, la Russie d'Asie 90, la Roumanie 75 et l'Australie 54 millions.

Après le froment vient le maïs ; sa production est de 73,5 millions de tonnes métriques, ce qui représente 2 896 millions de boisseaux. Les trois quarts de ce chiffre sont produits par les États Unis, soit 2 286 millions. L'Angleterre, qui ne produit que 112 millions, exporte parfois plus de maïs que les États-Unis. C'est, d'ailleurs, la seule céréale que le vieux monde tire du nouveau. Elle est cultivée actuellement en Chine, en Italie, dans l'Inde, en Roumanie, en Afrique et dans d'autres pays chauds.

L'avoine dépasse toutes les autres céréales en volume, mais non en poids, à cause de son faible poids spécifique. La production totale est de 3 371 millions de boisseaux, ne faisant qu'un poids de 49 millions de tonnes. En effet, le boisseau d'avoine ne pèse que 14,5 kg, contre 27,2 pour le froment, 25,4 pour le maïs et le riz et 22,7 kg pour l'orge. Les États-Unis produisent 871 millions de boisseaux, la Russie 825 ; ces deux chiffres représentent plus de la moitié de la production mondiale. L'Allemagne figure pour 494 millions, la France pour 268, le Canada pour 204, le Royaume-Uni pour 187 et l'Autriche-Hongrie ensemble pour 196 millions.

Quant au seigle, la Russie produit 890 millions de boisseaux, soit plus de la moitié du total du monde et l'Allemagne 372, soit plus du quart.

L'orge est cultivée surtout dans les pays où la vigne ne vient pas, car cette céréale est largement employée à la fabrication de la bière. La Russie en produit 297 millions de boisseaux, l'Allemagne 145, les Etats-Unis 114 et le Japon 80 millions.

Le riz vient probablement immédiatement après le froment comme importance. On n'a pas de statistiques sur la production de la Chine. Les meilleures autorités estiment ce chiffre à 24,5 millons de tonnes, chiffre supérieur à celui de 21,7 millions auquel on estime la production de l'Inde.

On se fait généralement des idées inexactes sur la consommation du riz en Chine. Le missionnaire Huc rapporte que, dans les provinces du nord, le riz n'est pas plus employé à l'alimentation qu'en France, on ne le trouve guère que sur les tables des riches. Mais, dans le sud, c'est la seule nourriture de millions de personnes.

Le millet est largement cultivé dans l'Inde, en Chine, en Russie, en Afrique, au Japon et en Italie. Une variante connue sous le nom de maïs cafre est cultivée sur une large échelle dans le Kansas. L'Inde en produit 542 millions de boisseaux, la Chine une grande quantité, mais probablement moins que l'Inde, la Russie d'Europe 78 millions, la Russie d'Asie 15, le Japon 12 et les États-Unis 5 millions.

On peut conclure de ce qui précède que les États-Unis dépassent de beaucoup tout autre pays pour la production des céréales. Cette production est, en effet, de 92 millions de tonnes métriques. La production de l'Inde, si on y comprend celle du millet, atteint probablement 45 millions; si on connaissait le chiffre des céréales autres que le riz produit en Chine, ce pays viendrait peut-être le second après les États-Unis.

L'Europe, à l'exception de la Russie, avec une population de presque 300 millions, est dépassée par les États-Unis comme surface cultivée et comme production de céréales; mais, toutefois, elle vient de beaucoup avant les États-Unis pour la valeur totale des produits de la culture générale.

Le chiffre de 660 millions de boisseaux de froment donné au début de cette note comme montant de la production de froment des États-Unis a été dépassé en 1906, car ce chiffre s'est élevé à 735 millions, ce qui représente 20 0/0 de la production totale du monde, qui est pour cette année de 3 424 millions de boisseaux. Le *Scientific American* expose cet énorme chiffre de manière à le faire comprendre en parlant aux yeux.

Si, dit-il, ces 735 millions de boisseaux étaient placés dans un récipient unique, le diamètre de ce récipient serait de 373 m en haut, de 241,60 m à la partie inférieure, avec une hauteur de 299 m, soit presque exactement celle de la tour Eiffel.

Si cette énorme quantité de blé était réduite en farine, elle représenterait 16 117 000 barils et le baril unique qui devrait le contenir aurait 293 m de diamètre maximum et 370 m de hauteur.

Enfin, on pourrait avec cette quantité de farine confectionner 4 milliards 835 millions de pains du type courant et, si on pouvait en faire un seul pain, ce pain aurait 380 m de largeur, 185 m d'épaisseur et une longueur de 658 m. Mis debout, ce pain atteindrait presque la hauteur formée par le baril de farine posé sur le panier à blé, qui serait de 669 m. On peut se faire une idée de la puissance des moyens de transport capables de déplacer une aussi énorme quantité de grains.

A. Mallet.

BIBLIOGRAPHIE

Ire SECTION

Étude sur les ponts en pierre remarquables par leur décoration, antérieurs au XIXe siècle, par F. de Dartein, Inspecteur général des Ponts et Chaussées en retraite, professeur d'architecture à l'École Polytechnique (1). Volume II. Ponts français du XVIIIe siècle. Centre de la France. Ch. Béranger, éditeur à Paris.

M. F. de Dartein, qui a récemment publié *la Vie et les travaux de Jean-Rodolphe Perronet* (2), présente aujourd'hui le commencement d'un grand ouvrage sur les ponts en pierre remarquables par leur décoration, antérieurs au XIXe siècle.

Cet ouvrage comprendra cinq volumes de grand format avec 250 planches et de nombreux dessins dans le texte.

Le volume Ier traitera des ponts français antérieurs au XVIIIe siècle.

Les tomes II, III, IV donneront trente-huit ponts français du XVIIIe siècle.

Et le dernier sera consacré aux ponts étrangers.

La partie qui a paru la première est le volume II. Il a pour sous-titre: *Ponts français du XVIIIe siècle, Centre de la France.*

On y trouve la monographie des treize ponts suivants, choisis parmi ceux qui représentent complètement les types en usage et qui sont remarquables par leur décoration :

Pont Royal sur la Seine, à Paris, 1685-1687;
Pont de l'Isle, sur le Loir, près Bonneval, 1710-1717;
Pont de Blois, sur la Loire, 1716-1724;
Pont des Belles-Fontaines, sur l'Orge, près Juvisy, 1728;
Pont de Tours, sur la Loire, 1764-1777;
Pont de Dizy, sur un lit de décharge de la Marne, près Épernay, 1767-1775;
Pont de Neuilly, sur la Seine, 1766-1774;
Pont Fouchard, sur le Thouet, près Saumur, 1773-1783;
Pont de Pont-Sainte-Maxence, sur l'Oise, 1771-1786;
Pont de Brunoy, sur l'Yeres, 1785-1787;
Pont de la Concorde, sur la Seine, à Paris, 1786-1791;
Pont de Nemours, sur le Loing, 1795-1804;
Pont de Saint-Dié, sur la Meurthe, 1785-1821.

Les 49 planches de 0,325 sur 0,250 m, sont surtout consacrées à l'étude de la décoration. Certains dessins montrent le rôle de cette décoration dans l'ensemble de la composition, puis dans les principaux

(1) In-4°, 325 × 250, de XV-281 p. avec une phot. de Perronet, 19 fig. dans le texte et 49 pl.
(2) Bulletin d'avril 1907. Bibliographie, page 622.

membres de l'édifice, d'autres, à plus grande échelle, étudient, les moulures et les ornements.

Le texte consiste en une suite de treize notices, fournissant, pour chaque pont, les diverses informations techniques, historiques et artistiques recueillies à son sujet. La notice est généralement divisée en quatre chapitres intitulés : Description, Caractère de l'architecture; Historique et procédés de la construction; Dépenses. Elle est accompagnée de notes biographiques sur l'auteur de l'ouvrage et ses principaux collaborateurs.

Le livre est édité avec les soins et l'élégance qu'on rencontre d'une façon constante dans les productions de la librairie polytechnique.

Un travail ainsi composé présente une utilité incontestable : il fait mieux connaître aux Ingénieurs les œuvres et les mérites de leurs devanciers, il constitue, par une représentation fidèle et détaillée des plus remarquables ouvrages, un précieux recueil de renseignements. La plupart des édifices étudiés, ou n'avaient jamais été publiés, ou ne l'avaient été que d'une manière imparfaite et inexacte, soit qu'on ait donné des images rudimentaires ou infidèles, soit qu'on n'en ait reproduit que les projets, souvent modifiés en cours d'exécution. Il restait à faire une étude d'ensemble sur l'architecture des ponts.

Pour un travail de ce genre, on ne saurait mieux choisir que le XVIIIe siècle, époque de grande activité pour la construction des ponts, puisqu'on dut refaire un grand nombre d'ouvrages remontant au moyen âge, remplacer des bacs sur bien des rivières et desservir des régions jusque-là peu accessibles. Les créations de cette période ont d'ailleurs marqué un remarquable progrès de l'art de la construction, surtout sous le rapport de la solidité et du caractère monumental de l'architecture.

Nul n'était mieux qualifié que M. de Dartein pour entreprendre et pour mener à bien une tâche aussi laborieuse et aussi délicate.

Pendant quinze années consécutives, le courageux professeur d'architecture a relevé lui-même, jusque dans les détails, les ponts dont il avait fait choix; il a compulsé les archives des ingénieurs, des villes, des départements, celles du Ministère des Travaux publics, de l'école des Ponts et Chaussées, ainsi que les archives nationales.

L'auteur a dessiné et écrit de sa propre main toutes les planches et, pour plus de fidélité, les a fait transporter sur zinc photographiquement.

Il expose avec une parfaite méthode et une saisissante clarté le résultat de ses recherches. A l'aide de nombreuses comparaisons, par l'examen rationnel des conditions du milieu, de la destination de l'édifice, il donne son appréciation autorisée sur le mérite architectural ou décoratif de l'édifice. On reconnaîtra dans ces critiques toujours bienveillantes le goût artistique pour lequel il est depuis longtemps réputé.

M. de Dartein érige à la gloire des ingénieurs un monument grandiose. Une partie seulement en est actuellement offerte à la vue ; elle produit l'effet le plus satisfaisant. On peut donc aujourd'hui féliciter l'auteur et souhaiter qu'il achève avec le même succès l'œuvre hardie qu'il a si heureusement commencée et pour laquelle les matériaux sont déjà réunis.

A. Brüll.

IIe SECTION

Des concessions de chemins de fer d'intérêt local et de tramways, par M. Fernand Payen (1).

Les lois, décrets et circulaires relatifs aux chemins de fer d'intérêt local et aux tramways constituent une réglementation complexe. M. Payen, avocat à la cour d'Appel de Paris, vient de faire paraître sur ce sujet une étude magistrale où les fonctionnaires, les représentants des Compagnies et les entrepreneurs trouveront exposées et résolues d'une manière excessivement claire toutes les difficultés qu'ils peuvent rencontrer dans les circonstances les plus diverses.

Dès le début, l'auteur a pris soin de définir ce qu'il faut entendre par chemin de fer d'intérêt local, tramway, concession, etc., et cette analyse met déjà le sujet en pleine lumière. Puis l'étude se subdivise en trois parties.

Sous le titre Ier sont exposées toutes les questions d'ordre juridique : droits et obligations du concédant et du concessionnaire, autorités compétentes pour l'interprétation des contrats, formalités et jurisprudence. Le titre II est consacré aux questions financières : subventions de l'État, des départements, des communes et des particuliers, comptes de premier établissement, emprunts des départements et des communes, actions et obligations des Compagnies. Enfin le titre III envisage les différents modes de cessation de la concession : résiliation, déchéance, rachat ou expiration, et renseigne sur la procédure et les formalités à suivre dans chaque cas.

H. D.

Monographie du Réseau de l'Est, par M. Henri Lambert (2).

Ce volume présente : 1° par année, une analyse des documents relatifs à la constitution du réseau : concessions, fusions, échanges, etc. ; 2° par période décennale, un résumé des principales données économiques : obligations émises, capital réalisé, dépenses d'établissement, résultats d'exploitation, dividendes, etc.

L'ouvrage est disposé de manière à fournir rapidement des renseignements utiles pour une étude financière.

L'auteur se propose de publier pour tous les autres grands réseaux de chemins de fer français des monographies semblables.

H. D.

(1) In-8° 225 × 140 de VIII-507 pages. Paris, Arthur Rousseau, 1907. Prix broché : 10 francs.

(2) In-8°, 210 × 140 de XI-196 p. avec 1 carte. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1907. Prix : broché, 3 f.

IIIe SECTION.

Le Mécanicien de chemins de fer,
par M. L.-Pierre Guédon (1).

Dans le numéro d'octobre 1897 des Mémoires de notre Société, nous avons publié une analyse succincte de la première édition de l'ouvrage que nous présentons aujourd'hui à nos Collègues, édition qui portait le titre de *Manuel du Mécanicien de chemins de fer.*

Dans ce compte rendu, tout en signalant l'intérêt que pouvait présenter ce livre à toutes les personnes qui s'occupent de traction sur les chemins de fer, nous insistions sur son caractère pratique qui s'adressait particulièrement aux mécaniciens et chauffeurs et mettait à la portée de ces modestes travailleurs les moyens de satisfaire, dans des limites raisonnables, leurs besoins légitimes d'instruction dans les questions relatives à leur service.

Les faits ont prouvé la justesse des vues de l'auteur et le succès de cette première édition l'a amené à en publier une autre, qui est celle dont nous nous occupons ici.

Naturellement, le temps qui s'est écoulé depuis l'apparition de la première, soit un laps de dix ans, a amené des changements dans la question, cette période a été signalée notamment par un développement considérable dans la puissance et les dimensions de ces machines, ce qui a amené nécessairement des modifications des dispositions dans l'ensemble et les détails. M. Pierre Guédon, obligé de mettre la nouvelle édition de son livre au courant des nouveaux progrès réalisés dans les locomotives, a cru devoir profiter de l'occasion, et nous devons l'en louer vivement, pour remanier entièrement son travail, améliorer la classification et l'ordre des matières et en faire en quelque sorte un ouvrage nouveau; il n'est pas jusqu'au titre qui n'ait été légèrement modifié. Nous avons vu avec plaisir que l'auteur avait tenu compte de quelques légères critiques de détails que nous avions cru pouvoir formuler dans notre compte rendu de 1897.

Le Mécanicien de chemins de fer est divisé en huit chapitres, dont nous allons indiquer rapidement le contenu.

Le premier débute par un aperçu sur l'origine et l'évolution de la machine locomotive et donne ensuite des développements sur les principes qui régissent le fonctionnement de cette machine; on y trouve ensuite la classification des locomotives sous le rapport du service qu'elles ont à faire et du nombre d'essieux sur lesquels elles sont portées. Bien que l'ouvrage, par sa destination même, s'applique exclusivement à l'étude du matériel des chemins de fer français, l'auteur a cru devoir avec raison passer rapidement en vue les caractères généraux distinctifs des machines employées dans les plus importants des autres pays.

Le second chapitre est consacré à l'étude des éléments de production

(1) In-8°, 215 × 135 de xii-510 pages avec 225 figures. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1908. Prix, broché : 7 fr. 50.

et d'utilisation de la puissance dans les locomotives. Après quelques notions indispensables sur le calorique et les changements d'état qu'il produit dans les corps, l'auteur passe à l'étude des phénomènes qui interviennent dans le problème de la transformation en énergie du calorique contenu dans le combustible, cette énergie se traduisant, dans le cas de la locomotive, en effort de traction exercé parallèlement au plan des rails.

Ces phénomènes sont, il est à peine besoin de le rappeler, d'abord la combustion qui dégage le calorique du combustible, puis la vaporisation qui fait passer l'eau à l'état de vapeur et enfin l'utilisation de cette vapeur pour animer un piston d'un mouvement alternatif, lequel, par l'intermédiaire du mécanisme et l'intervention d'un autre phénomène, l'adhérence, détermine la production de l'effort de traction dont nous venons de parler. D'autres facteurs viennent jouer un rôle, mais secondairement, la gravité et l'inertie. Cette partie, qui embrasse la théorie complète de la machine locomotive, est, malgré la nature quelquefois un peu abstraite des matières traitées, rédigée avec une simplicité qui n'exclut ni la clarté, ni la rigoureuse exactitude des principes et des déductions.

Le troisième chapitre s'occupe de la chaudière, la partie de la machine où se développent les phénomènes de la combustion et de la vaporisation. L'auteur étudie les diverses parties du générateur, enveloppe extérieure, foyer, tubes, boite à fumée, leur construction, les matières dont elles sont composées; les accessoires de la chaudière, appareils de sûreté et d'alimentation, les épreuves des chaudières, les explosions, phénomène heureusement très rare dans les locomotives; il termine par des détails sur les surchauffeurs, ces appareils d'un emploi assez récent sur les machines dont nous nous occupons ici et dont la valeur est encore discutée, bien que l'usage s'en répande rapidement, car au moment où nous écrivons ces lignes le nombre des locomotives munies de surchauffeurs dépasse déjà 2000. C'est depuis l'année 1900 que ce développement s'est produit de plus en plus rapidement.

Le quatrième chapitre est consacré au mécanisme, c'est-à-dire à l'ensemble des organes mécaniques de transformation de la pression de la vapeur sur les pistons en effort de traction. Ces parties sont décrites très en détail avec leur fonctionnement et l'indication des soins à leur donner pour assurer ce fonctionnement dans les meilleures conditions. C'est peut-être le chapitre le plus important de l'ouvrage, car il traite de questions essentielles pour la marche économique de l'appareil, telles que la distribution de la vapeur, le système compound et ses diverses formes d'application aux locomotives, etc.

Le cinquième chapitre étudie l'utilisation de la vapeur dans les cylindres, le travail de la vapeur et l'effort de traction, puis l'utilisation de cet effort pour la remorque des trains, ce qui nécessite l'étude des résistances du matériel dans les diverses circonstances amenées par la disposition de la voie, enfin la consommation de vapeur et d'eau des locomotives rapportées à diverses unités de comparaison, le cheval développé, le kilomètre parcouru, la tonne remorquée, etc.

Le chapitre sixième s'occupe de la locomotive considérée comme

véhicule et étudie successivement le châssis, les roues et essieux, les attelages, la suspension, les dispositifs pour faciliter la circulation dans les courbes, etc.

Dans le septième chapitre, l'auteur s'occupe du tender et des freins; cette dernière partie, qui a acquis, depuis l'introduction des freins continus, une importance de premier ordre, est traitée avec tous les développements nécessaires.

Le dernier chapitre est consacré à la construction, à la conduite et à l'entretien des locomotives. Ces questions sont traitées avec une compétence toute naturelle chez l'auteur qui a été d'abord, comme on sait, mécanicien et chef de dépôt aux Chemins de fer de l'État.

Ce chapitre se termine par un certain nombre de tableaux numériques relatifs à des données mathématiques ou physiques, toujours utiles à la suite d'un ouvrage de ce genre. On y trouve aussi des chiffres intéressants sur l'effectif et le parcours du matériel roulant des divers réseaux français et sur les dépenses de traction et d'entretien de ce matériel.

Nous n'avons pu donner, dans cette revue rapide, qu'une faible idée des sujets traités dans l'ouvrage de M. Pierre Guédon. Nous sommes persuadé que cette nouvelle édition, nous pourrions dire ce nouvel ouvrage de l'auteur, mis avec le plus grand soin au courant des perfectionnements les plus récents introduits dans les locomotives, sera aussi bien accueilli que le précédent; nous souhaitons vivement ce nouveau succès à l'auteur, ingénieur et écrivain technique aussi modeste que plein de mérite.

A. Mallet.

Ve SECTION

La Dénaturation de l'alcool en France et dans les principaux pays d'Europe, par René Duchemin (1).

La consommation de l'alcool dénaturé augmente beaucoup en France, et elle augmentera encore beaucoup pour les besoins de l'automobilisme qui n'a plus assez d'essence de pétrole à sa disposition. La dénaturation de l'alcool est une industrie appelée à un grand développement ; elle est régie par un assez grand nombre de règlements d'administration qui ont beaucoup varié dans ces dernières années.

M. Duchemin, chimiste et secrétaire de l'Union syndicale des Usines de Carbonisation, usines qui fournissent le dénaturant à base de méthylène, était tout indiqué pour faire un ouvrage d'ensemble sur la Dénaturation. On ne peut que louer la méthode et la clarté de son volume où se trouvent traitées toutes les questions qui se rattachent à l'alcool industriel : l'historique, l'étude des lois, décrets et circulaires régissant la dénaturation et la vente, l'analyse des alcools, les documents statistiques, etc.

L'ouvrage n'aurait pas été complet, si l'auteur n'avait pas exposé

(1) In-8°, 225 × 140, de xvi-264 p. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1907. Prix : broché, 7 fr. 50.

avec la même documentation, aussi complète que judicieuse, toutes les réglementations des autres pays d'Europe, Allemagne, Autriche-Hongrie, Grande-Bretagne, Hollande, Italie, Russie, Suisse, etc. De cette comparaison avec les autres nations, M. Duchemin a déduit des conclusions motivées sur toutes les questions fiscales et économiques qui peuvent développer l'emploi de l'alcool dénaturé. La prospérité de cette industrie assurera celle de nos principales industries agricoles.

E. B.

Fabrication des Colles animales, par Victor Cambon, Ingénieur des Arts et Manufactures. Ex-fabricant de colles et de gélatines (1).

Cet ouvrage, écrit par un praticien doublé d'un érudit, contient dans sa préface la genèse de son développement.

Instruit antérieurement par la pratique, dit M. Victor Cambon, nous avons étudié partout, tant chez les constructeurs les plus renommés que chez les fabricants les plus habiles, les procédés et l'outillage qui donnent économiquement les meilleurs produits.

Des comparaisons ainsi établies, nous avons extrait les méthodes les plus avantageuses de fabrication : nous les exposerons avec la certitude, basée sur l'expérience, qu'elles sont égales ou supérieures à toutes celles que l'on peut être tenté d'adopter.

Partant de ce principe, après avoir examiné les généralités sur les colles, l'auteur embrasse le traitement des os et des bouillons, le coulage, le coupage et le séchage de la colle et le traitement des sous-produits.

Une étude ultérieure spécifie les méthodes pratiques d'essais des os et des colles et présente l'organisation d'ensemble d'une fabrique de colle.

De nombreux dessins, répandus dans l'ouvrage, accompagnent la description des appareils les plus nouveaux et les plus perfectionnés et rendent la lecture de l'ouvrage facile et intéressante.

Une conclusion philosophique de l'auteur (que ses occupations ont souvent conduit en Allemagne) reflète dans un style imagé les angoisses qu'éprouve M. Cambon devant l'avenir fait à notre pays par des lois industrielles mal étudiés, comparativement au prodigieux développement commercial de nos voisins d'Outre-Rhin. Puisse-t-elle être infirmée plus tard !

Ed. C.

Les principes de la comptabilité industrielle et commerciale réduits à leur plus simple expression (2), par M. Auguste Liévin, Ingénieur des Arts et Manufactures.

L'étude de M. Liévin est bien le résumé le plus succinct que l'on puisse faire de la comptabilité, sans cependant qu'il soit possible d'y

(1) In-8, 225 × 140 de 216 p. avec 50 fig. Paris H. Dunod et E. Pinat, 1907. Prix : broché, 6 f.

(2) In-8°, 240 × 155, de 11 p. avec 1 pl. Paris, Librairie technique et industrielle. Prix broché : 2 fr.

constater une omission des principes essentiels qui doivent présider à l'établissement de toute comptabilité.

L'indication des nouvelles méthodes de Journal Grand-Livre, qui tendent heureusement à se répandre, aidera beaucoup à éclairer les lecteurs peu familiers avec les opérations comptables.

Les ingénieurs qui, tout en laissant le détail aux professionnels, doivent connaître le jeu des comptes et lire une comptabilité, liront avec grand profit cette intéressante brochure.

F. C.

La conservation du lait, du beurre et du fromage, suivie d'une étude sur *l'Utilisation des sous-produits de l'industrie laitière* (1), par Paul Razous, licencié ès sciences mathématiques et chimiques.

Les divers procédés de conservation du lait, par Raymond Nourissé (2).

Les deux opuscules ci-dessus renferment des renseignements intéressants, présentés sous une forme méthodique et claire, accompagnés d'une description des appareils industriels utilisés dans l'industrie laitière.

Ils renferment des documents pratiques qui seront consultés avec profit dans les exploitations agricoles.

Ed. C.

L'Eau dans l'Industrie, par H. de la Coux, ingénieur chimiste, inspecteur de l'enseignement technique (3).

Le succès de la première édition de *L'Eau dans l'Industrie*, de M. de la Coux, a engagé l'auteur à publier une deuxième édition complétée de son remarquable ouvrage.

Dans les générateurs de vapeur, l'eau peut provoquer de nombreux inconvénients : incrustations, corrosions, qui entraînent une dépense exagérée de combustible, un ralentissement dans la vaporisation, une détérioration, une usure rapide des chaudières, des coups de feu et des explosions. Par l'examen de l'eau, par l'étude des phénomènes, on peut expliquer les accidents, les désordres survenus, en reconnaître l'origine et déterminer les remèdes efficaces.

Une étude sur les corrosions, qui jouent un rôle considérable dans le fonctionnement des générateurs de vapeur industriels et marins, forme un complément important dans la nouvelle édition de l'ouvrage de M. H. de la Coux.

(1) In-8, 250×165 de 93 p. Paris, Société d'Éditions techniques, 1907. Prix, broché : 3 fr. 50.

(2) In-8, 225×140, de 31 p. Paris, Société d'Éditions techniques, 1907. Prix, broché : 1 fr. 50.

(3) 2e édit. gr. in-8 de 543 p. avec 135 fig. Paris, H. Dunod et E. Pinat, éditeurs Prix : broché 16 f., cartonné 17 f. 50.

Dans un chapitre spécial, les causes qui influent sur la résistance des chaudières industrielles et marines aux phénomènes corrosifs et les conséquences entraînées sont longuement examinées, en faisant ressortir les préjudices causés.

Pour pouvoir résister aux agents corrosifs, les générateurs doivent être construits avec un métal approprié. Il faut se rendre compte de la valeur du métal constitutif et savoir s'il est susceptible de résister aux corrosions. Des indications précieuses sur ces questions sont fournies dans un chapitre spécial.

Les mécaniciens et industriels doivent se rendre compte des phénomènes destructifs, les prévoir et y remédier ; aussi l'origine des corrosions a été expliquée, le contrôle de la marche de la circulation, les moyens de prévenir les corrosions et les remèdes ont fait l'objet d'une discussion et d'un examen détaillés.

Une étude pratique complète de l'emploi de l'eau et de ses influences est faite chez le teinturier, le blanchisseur, l'imprimeur sur étoffes, le laveur et le peigneur de laines, le savonnier, le tanneur, le chamoiseur et le mégissier, le fabricant d'extraits tannants et colorants, le papetier, le photographe, le brasseur, le distillateur, le fabricant et raffineur de sucre, le fabricant de cidre, de glace et de boissons.

Une partie documentée est consacrée aux nombreuses méthodes et appareils d'épuration préalable de l'eau par la vapeur et les procédés chimiques, à la filtration et à la stérilisation industrielles. L'épuration des eaux résiduaires a été également traitée avec détails. Enfin, l'analyse chimique a fait l'objet d'une exposition complète.

Cette nouvelle édition est appelée à rendre les plus grands services aux Industriels, aux Métallurgistes, à la Marine, aux Chauffeurs, aux Mécaniciens et à tous ceux qu'intéresse cette importante question de l'eau.

P. V.

Formules, tables et renseignements usuels (1). *Partie pratique de l'Aide-mémoire des Ingénieurs, architectes, entrepreneurs, conducteurs, agents voyers, dessinateurs, etc.* par J. Claudel, Ingénieur. 11e édition entièrement refondue, revue et corrigée sous la direction de G. Dariès, Ingénieur de la Ville de Paris.

Claudel, le vieux Claudel, qui guida dans leurs premiers pas tant de générations d'Ingénieurs, avait besoin d'un sérieux rajeunissement ou mieux d'une transformation radicale appropriée à l'évolution scientifique des dix derniers lustres.

M. Georges Dariès, Ingénieur de la Ville de Paris, avec la collaboration de nombreux techniciens, s'est chargé de cette tâche, et les éditeurs Dunod et Pinat présentent aujourd'hui un aide-mémoire Claudel-Dariès tellement transformé qu'on n'y retrouve plus que l'excellent esprit du Claudel de 1846 : un soin particulier dans l'exécution de

(1) 2 forts vol. in-8, de 2.300 p. avec plus de 1.000 fig. Paris, H. Dunod et E. Pinat, éditeurs. En souscription. Prix : brochés, 30 f., reliés, 34 f.

l'ouvrage, l'augmentation et le choix des clichés complètent matériellement cette transformation.

L'Aide-mémoire de Georges Dariès est divisé en sept chapitres distincts.

Après avoir établi dans le premier les définitions et les principes de la *Mécanique* moderne, et étendu leur application aux *Machines en général.* l'auteur consacre le chapitre n° II à la *Résistance des matériaux* et à l'étude des constructions en pierre, en métal ou en ciment armé.

L'Hydraulique est l'objet de tous ses soins dans les chapitres III, IV et V, soit dans l'exposition de la théorie générale, soit dans la pratique du régime des canaux et rivières, des moteurs hydrauliques, de la distribution des eaux, de l'assainissement des villes et de l'établissement des égouts.

La *Physique industrielle* occupe le chapitre VI (section de la chaleur) en comprenant dans celle-ci l'étude complète des combustibles, celle de l'évaporation, de l'éclairage, du chauffage et de la ventilation, avec une incursion dans le domaine de la Métallurgie et des Explosifs.

Enfin le dernier chapitre est consacré à l'Electricité et embrasse les progrès les plus récents de cette branche industrielle.

Dans chacun de ces compartiments, M. Georges Dariès apporte une documentation aussi étendue que précise, appuyée sur de nombreux chiffres usuels, accompagnée de tableaux synoptiques précieux dont un grand nombre inédits : nous souhaitons longue vie à cet Aide-mémoire, avec le vœu que son tirage atteigne les 55.000 exemplaires de son prédécesseur !

Ed. C.

Pratique de l'Hygiène industrielle (1), par MM. Marcel Frois et Paul Razous.

Cet ouvrage, dont l'utilité se faisait sentir, est conçu dans un esprit très pratique. Il envisage successivement les objets suivants : Propreté des locaux affectés au travail ; maintien de la pureté de l'air dans les ateliers ; moyens de combattre les émanations, miasmes, poussières, gaz, vapeurs, etc. qui peuvent souiller les locaux industriels ; assainissement des ateliers contre les matières toxiques et les maladies infectieuses ; mesures à prendre dans les travaux par l'air comprimé. Il consacre enfin un dernier chapitre à l'hygiène industrielle de l'ouvrier.

P. V.

L'Hygiène du travail dans les établissements industriels et commerciaux (2), par M. Louis Grillet.

L'auteur étudie dans cet aide-mémoire divisé en six chapitres principaux :

Les prescriptions d'hygiène visant l'emploi des enfants, des filles

(1) In-8, 250×165, de 215 p. Paris, Société d'Éditions techniques, 1907. Prix, broché : 6 fr.
(2) In-8, 190×120, de 192 p. Paris, Gauthier-Villars, Masson et Cie. Prix, broché : 2 fr.50.

mineures et des femmes dans les établissements industriels et commerciaux.

Les établissements assujettis.

Les formes d'application des mesures d'hygiène et de sécurité.

L'hygiène générale des ateliers.

Les dispositions particulières.

Dans ce volume illustré de quelques figures, M. L. Grillet passe en revue les diverses étapes par lesquelles a passé la réglementation de l'hygiène depuis avant la révolution jusqu'à nos jours ; il sera donc très utilement consulté par les industriels et les commerçants soucieux de la santé de leur personnel.

H. A.

La législation du Travail applicable dans les ateliers et sur les chantiers du bâtiment et des travaux publics, par M. Charles Flamand (1), docteur en droit, avocat-conseil de la Chambre syndicale des Entrepreneurs de maçonnerie de la Ville de Paris et du département de la Seine, etc.

Les devoirs incombant aux chefs d'entreprise en vertu des lois, décrets et arrêtés sur la réglementation du travail, l'hygiène et la sécurité dans les chantiers et les ateliers, les accidents, le repos hebdomadaire, le contrat de travail, l'apprentissage, la prévoyance sociale, etc., se sont considérablement accrus depuis quelques années.

Pour éviter les ennuis pouvant résulter de la non-observation de l'une quelconque des nombreuses prescriptions applicables, et aussi une perte de temps considérable, Me Charles Flamand, avocat, docteur en droit, particulièrement au courant des questions du travail, a résumé en un manuel succinct, les principes essentiels de chaque loi, décret et arrêté, en faisant ressortir, en un style simple et précis, les obligations des chefs d'entreprise.

Ce manuel, présenté sous forme de dictionnaire, pour faciliter les recherches, peut rendre de réels services aux industriels.

F. C.

Le Pérou d'aujourd'hui et le Pérou de demain, par M. Em. Guarini, professeur à l'Ecole d'Arts et Métiers de Lima (2).

M. Guarini a pu étudier sur place les immenses ressources du Pérou. Il les énumère dans cette brochure et indique le grand parti que l'industrie pourrait en tirer, en y développant des voies de communication. L'auteur préconise surtout, pour mettre en valeur les richesses locales du Pérou, l'établissement dans ce pays d'usines centrales électriques permettant de monopoliser les forces hydrauliques considérables qu'il possède et de les utiliser au loin.

(1) In-8, 225 × 140, de 104 p. Paris, Société d'Éditions techniques, 1907. Prix broché : 2 fr. 50.

(2) In-8, 245 × 160, de 16 p. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1907. Prix : broché, 1 f.

De nombreux calculs permettent de se rendre compte et d'analyser l'économie du système préconisé. M. Guarini termine par des considérations intéressantes sur l'avenir de l'exploitation des usines et de la sidérurgie au Pérou et donnant des indications à ceux qui voudraient tenter quelque entreprise minière ou industrielle dans ce pays.

F. C.

Considérations économiques sur l'exploitation du pétrole en Roumanie, par E. Wickersheimer (1), ingénieur en chef des mines.

Dans ce petit ouvrage, basé sur des statistiques officielles, l'auteur passe en revue la répartition des puits et des sondes dans l'étendue du territoire roumain, le transport par tuyaux souterrains, l'exportation, le raffinage. Il énumère les Sociétés roumaines ou étrangères qui exploitent les terrains pétrolifères, et expose les lois qui régissent l'achat des concessions et la consolidation des concessions. C'est en somme une étude économique très consciencieuse faite par un ingénieur éminent qui a poursuivi patiemment son enquête dans le pays même.

E. B.

La définition des produits commerciaux par M. J. Cavalier, Professeur de chimie à la Faculté des Sciences de Rennes (2).

La nécessité des transactions exige que l'acheteur d'un produit commercial, qu'il s'agisse d'aciers ou de vins, d'engrais chimiques ou de sucres, de pétroles ou de ciments, connaisse la définition précise de ce produit. L'extension géographique des transactions et la multiplicité toujours plus grande des produits rendent cette précision dans la définition de plus en plus délicate et en même temps de plus en plus nécessaire. Toutes les discussions, d'une si pressante actualité, sur les fraudes dans le commerce des matières alimentaires gravitent autour de telles questions de définition.

Avec une compétence de chimiste très documenté M. Cavalier contribue par son étude à éclaircir et à préciser ces questions délicates. La lecture de ce travail sera intéressante pour tous ceux qui désirent avoir une vue nette des problèmes qui se posent et des solutions possibles.

F. C.

La sécurité du travail dans les établissements industriels et commerciaux (3), par M. Louis Grillet.

Cet aide-mémoire consacré par l'auteur à l'étude de la législation du travail s'adresse aux chefs d'entreprises.

L'auteur y étudie les causes diverses des accidents professionnels et

(1) In-8°, 230×140, de 59 p. Paris, H. Dunod et T. Pinat, 1907. Prix broché : 2 fr. 50.
(2) In-8, 240×160, de 36 p. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1907. Prix : broché 1 f.
(3) In-8, 190×120, de 223 p. Paris, Gauthier-Villars, Masson et Cie. Prix, broché : 2 fr. 50.

indique dans une série de chapitres, les dispositifs consacrés par l'expérience permettant de les éviter.

Ce volume, divisé en trois parties principales, contient un nombre important de figures ; il n'est pas douteux qu'il entrera utilement dans la bibliothèque des chefs d'exploitation du commerce et de l'industrie. qui se préoccupent à juste titre de la sécurité de leur personnel.

H. A.

VI[e] SECTION.

Exercices et projets d'électrotechnique (1) (1[er] volume), par MM. Eric Gérard et Omer de Bast.

Ce livre est le premier volume de la série d'études didactiques et industrielles que les distingués auteurs se proposent de faire paraître, pour l'usage, à la fois des étudiants en électricité et des techniciens.

Les étudiants spécialement trouveront dans ce volume, et comme applications diverses des théories qui sont exposées dans leurs cours, les solutions détaillées des nombreux problèmes posés aux élèves de l'Institut Montefiore.

Les auteurs ont eu soin d'employer pour ces solutions les méthodes les plus variées, tant graphiques que symboliques ou analytiques, en utilisant de parti pris les unités les plus hétérogènes, de façon à familiariser avec leur emploi simultané.

A ce titre et tout particulièrement ce livre peut être éminemment utile. Il y a lieu de lui faire bon accueil tout en espérant que le ou les volumes suivants donneront satisfaction analogue aux techniciens en service.

E. D.

(1) In-8°, 255 × 165, de VI-241 p. avec 50 fig. Paris, Gauthier-Villars, 1907. Prix : broché, 6 f.

Le Secrétaire Administratif, Gérant,

A. de Dax.

IMPRIMERIE CHAIX, RUE BERGÈRE, 20, PARIS. — 13510-8-07. (Encre Lorilleux).

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE

BULLETIN

D'OCTOBRE 1907

N° 10.

OUVRAGES REÇUS

Pendant les mois d'août, septembre et octobre 1907, la Société a reçu les ouvrages suivants :

Agriculture.

Liste générale des Fabriques de sucre, raffineries et distilleries de France, d'Allemagne, d'Autriche-Hongrie, de Russie, de Belgique, de Hollande, d'Angleterre et de diverses Colonies, etc., etc. Trente-neuvième année de publication. Campagne 1907-1908 (in-18, 155 × 105 de XXVIII-412 p.). Paris, 160, Boulevard Magenta, 1908. 45042

RAZOUS (P.) et NOURISSÉ (R.). — *Les divers procédés de conservation des viandes*, par Paul Razous et Raymond Nourissé (in-8°, 250 × 160 de II-79 p.). Paris, Société d'Éditions techniques, 1907. (Don de l'éditeur.) 44999

Astronomie et Météorologie.

Annuario publicado pelo Observatorio do Rio de Janeiro para o anno de 1907. Anno XXIII. (Ministerio da Industria, Viação e Obras publicas) (in-8°, 180 × 130 de x-354 p.). Rio de Janeiro, Imprensa nacional, 1907. 45004

Publications of the Earthquake Investigation Committee in foreign Languages. N° 23 et N° 24 (2 brochures 260 × 190 de 16 p. avec 22 pl. et de 273 p. avec 10 pl.). Tokyo, 1907. 45047 et 45048

Chemins de fer et Tramways.

GUÉDON (L.-P.). — *Le Mécanicien de chemin de fer*, par L.-Pierre Guédon. Deuxième édition entièrement remaniée mise à jour et considérablement augmentée (in-8°, 215 × 135 de XII-510 p. et 225 fig.). Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1907. (Don des éditeurs.) 45082

PAYEN (F.). — *Des concessions de chemins de fer d'intérêt local et de tramways*, par Fernand Payen (in-8°, 225 × 140 de VIII-507 pages). Paris, Arthur Rousseau, 1907. (Don de l'éditeur). 44978

Postroika i Eksploatatsiya Nikolaevskoi Jeliéznoi doroghi (1842-1851-1901) Kratkii Istoritcheskii Otcherke Sostavlene oupravlenieme doroghi (in-8°, 270 × 175 de 64 p. avec portraits, illustrations et pl.). Saint-Pétersbourg, 1901. (Don de M. J. Tourtsevitch, M. de la S.) 45045

Report of the Board of Rapid Transit Railroad Commissioners for the City of New York, for the Year Ending December 31, 1906. Accompanied by Reports of the Chief Engineer and of the Auditor (in-8°, 260 × 170 de 355 p. avec pl. et illust.). New York, 1907. 45040

Report of the Subsidized Railways and other Public Works in the Province in Nova Scotia for the Year Ending September 30, 1905 and 1906 (2 vol. in-8°, 240 × 155 de 35-CXIX p. et de XXVIII-XCIV pages). Halifax, N. S., Commissioner of Public Works and Mining King's Printer, 1906, 1907. 45012 et 45013

RÖTHLISBERGER (J.). — *Réponse aux questions posées par le Département de Justice du Canton de Bâle-Campagne au sujet de la catastrophe de Mönchensten*, par J. Röthlisberger, Ingénieur à Turin (in-4°, 350 × 220 de 28 p. avec 6 pl.). Berne, Imprimerie Gebhardt, Rösch et Schatzman, 1892. (Don de M. A. Hillairet, M. de la S.) 45032

SAUVAGE (C.). — *Société industrielle de l'Est. Conférence donnée le 3 février 1897, par M. C. Sauvage, sur les voitures de chemins de fer.* (Supplément à la Revue industrielle de l'Est du 7 Février 1897, pages 5 à 7) (in-f° 400 × 280 de 3 p. à 2 col.). Nancy, 1897. (Don de l'auteur.) 45021

SAUVAGE (Éd.). — *Chaudières, foyers et tubes à fumée des locomotives.* Exposé par M. Éd. Sauvage (Congrès international des Chemins de fer. Cinquième session. Londres 1895) (Extrait du Bulletin de la Commission internationale du Congrès des Chemins de fer) (in-8°, 240 × 180 de 72 p. avec 52 fig.). Bruxelles, P. Weissenbruch. (Don de l'auteur). 45022

The Universal Directory of Railways Officials 1907. Compiled from Official Sources under the Direction of S. Richardson Blundstone (in-8°, 215 × 135 de 685 p.). London, The Directory Publishing Company Limited. 45019

Chimie.

PELLET (L.). — *Association des Chimistes de Sucrerie et de Distillerie de France et des Colonies. Table des matières des 20 premiers volumes (1882-1902)*, par Léon Pellet (in-8°, 235 × 150 de 203 p.). Paris, 156, Boulevard Magenta, 1907. 45068

Construction des Machines.

ANDRÉ (H.) et HORTA HURBIN (D'). — *Les organes de l'Automobile.* Publié par la Revue Française de Construction automobile, avec la collaboration de MM. H. André et d'Horta Hurbin (in-4°, 305 × 225 de 212 p. à 3 col. et 315 fig.). Paris, G. Mathière. (Don de M. H. André, M. de la S.) 45043

Association Lyonnaise des Propriétaires d'appareils à vapeur. Exercice 1906. 31e année. (in-8°, 240 × 150 de 78 p.). Lyon, Imprimerie A. Storck et Cie, 1907. 45027

Association Parisienne des Propriétaires d'appareils à vapeur. Bulletin annuel. 32e exercice 1906 (in-8°, 240 × 155 de 132 p.). Paris, Siège de l'Association, 1907. 45049

BELLUZZO (G.), CIVALLERI (G.). — *Les turbines à vapeur et à gaz*, par Giuseppe Belluzzo. Traduit sur l'édition italienne augmentée par l'auteur, par G. Civalleri (in-8°, 255 × 165 de XVI-420 p. avec 317 fig. et 23 pl.). Paris, H. Desforges, 1907. (Don de l'éditeur.) 45057

BLANCARNOUX (P.). — *Le Mécanicien industriel. Manuel pratique. Précis de Sciences mécaniques, Chaudières et machines, Moteurs divers, Mécanismes d'ateliers*, par Paul Blancarnoux (in-8°, 215 × 135 de VI-820 p. avec fig.). Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1907. (Don des éditeurs.) 45083

BOULVIN (J.). — *Cours de Mécanique appliquée aux machines, professé à l'École spéciale du Génie Civil de Gand, par J. Boulvin. 2e fascicule. 2e édition. Moteurs animés. Récepteurs hydrauliques. Récepteurs pneumatiques* (in-8°, 255 × 165 de VI-277 p. avec 176 fig.). Paris, E. Bernard, 1907. (Don de l'éditeur.) 45075

CHABOT (Lt DE). — *Les Automobiles et leurs moteurs*, par le Lieutenant de Chabot (in-8°, 255 × 165 de II-335 p. avec 171 fig.). Paris, E. Bernard, 1907. (Don de l'éditeur.) 45076

DESJUZEUR. — *Notes sur le travail des chauffeurs*, par M. Desjuseur (Association Lyonnaise des Propriétaires d'appareils à vapeur) (in-8°, 240 × 155 de 22 p.). Lyon, Imprimeries réunies, 1907. (Don de l'auteur, M. de la S.) 45028

IZART (J.). — *Dictionnaire et Vocabulaire de l'Automobile, Français, Allemand, Anglais, Italien*, suivi d'un Manuel pratique de Tourisme international, par J. Izart (Bibliothèque du Chauffeur) (in-8°, 185 × 120 de VII-338 p.). Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1907. (Don des éditeurs.) 45007

MATHOT (R.-E.). — *Moteurs à combustion interne et machines à vapeur*, par R.-E. Mathot (Extrait de la Revue de Mécanique. Tome XIX. N° 6) (in-8°, 205 × 135 de 55 p. avec 5 fig.). Paris, Ch. Béranger, 1907. (Don de l'auteur, M. de la S.) 45003

PÉRISSÉ (L.). — *Traité général des Automobiles à pétrole*, par Lucien Périssé (Encyclopédie industrielle fondée par M.-C. Lechalas) (in-8°, 255 × 165 de IV-503 p. avec 286 fig.). Paris, Gauthier-Villars, 1907. (Don de l'éditeur.) 45015

ROUSSELET (L.). — *Mécanique, électricité et construction appliquées aux appareils de levage. Les ponts roulants actuels*, par Louis Rousselet (in-8°, 285 × 190 de VI-553 p. avec 286 fig. et 11 pl.). Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1907. (Don de l'auteur, M. de la S., et de l'éditeur.) 45077

SAUVAGE (Éd.). — *Rapport fait au nom du Comité des Arts mécaniques, par M. Éd. Sauvage, sur l'indicateur de vitesse de M. Luc Denis* (Extrait du Bulletin de Juillet 1906 de la Société d'Encouragement pour l'industrie nationale) (in-4°, 270 × 220 de 15 p. avec 17 fig.). Paris, Typographie Philippe Renouard, 1906. (Don de l'auteur.) 45024

SAUVAGE (Éd.). — *Rapport fait au nom du Comité des Arts mécaniques, par M. Éd. Sauvage, sur un compresseur d'air à deux phases présenté par M. Durozoi* (Extrait du Bulletin d'Avril 1906 de la Société d'Encouragement pour l'industrie nationale) (in-4°, 270 × 220 de 12 p. avec 11 fig.). Paris, Typographie Philippe Renouard, 1906. (Don de l'auteur.) 45023

The Manchester Steam users' Association. Memorandum by Chief Engineer for the year 1906 (in-8°, 243 × 150 de 34 p. avec 6 fig.). Manchester, Taylor, Garnett, Evans and C. Ltd, 1907. 45025

VALBREUZE (R. DE) et LAVILLE (Ch.). — *Éléments de Mécanique et d'Électricité*, par R. de Valbreuze et Ch. Laville (Bibliothèque du Chauffeur) (in-8°, 185 × 120 de VI-379 p. avec 122 fig.). Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1907. (Don des éditeurs.) 45008

Éclairage.

Annuaire international de l'acétylène, 1907 (Bibliothèque de l'Office central de l'acétylène) (in-8°, 235 × 155 de 256-XLVIII p.). Paris, Office central de l'acétylène. 44992

Économie politique et sociale.

Bulletin de l'Association Normande pour prévenir les accidents du travail. Contrôle des installations électriques. 1907. N° 28 (in-8°, 265 × 180 de 110 p.). Rouen, au Siège de la Société, 1907. 44991

Chambre de commerce de Dunkerque. Situation commerciale et industrielle de la circonscription. Statistique maritime et commerciale des ports de Gravelines et de Dunkerque. 1906 (in-8°, 250 × 165 de XLI-244 p.). Dunkerque, Imprimerie Dunkerquoise, 1907. 45026

Compte rendu des travaux de la Chambre de commerce de Paris. Année 1906 (in-8°, 280 × 175 de 652 p.). Paris, Imprimerie Motteroz et E. Martinet, 1907. 44988

Conseil supérieur du travail. Seizième session. Novembre 1906. Compte rendu (Ministère du Travail et de la Prévoyance sociale) (in-4°, 265 × 215 de XVIII-244 p.). Paris, Imprimerie nationale, 1907. 44995

Oesterreichisch-Ungarische Handelskammer in Paris. Rechenschaftsbericht 1906 (in-8°, 240 × 155 de 99 p.). Paris, Imprimerie nouvelle, 1907. 45020

Tableau général du commerce et de la navigation. Année 1906. Premier volume. Commerce de la France avec ses Colonies et les puissances étrangères (République Française. Direction générale des Douanes) (in-4°, 365 × 275 de 120-821 p.). Paris, Imprimerie nationale, 1907. 45062

Électricité.

Syndicat professionnel des Usines d'Électricité. Annuaire 1906. Onzième année. — Annuaire 1907. Douzième année (2 vol. in-8°, 235 × 155 de 296 p. et de 282 p.). Paris, 27, Rue Tronchet, 1906, 1907. 45072 et 45073

Transactions of the American Institute of Electrical Engineers. January to December 1906. Vol. XXV (in-8°, 245 × 155 de VIII-952 p. avec fig.). New York, Published by the American Institute of Electrical Engineers, 1907. 45059

ZACON (L.). — *Exposé théorique et pratique de l'électricité industrielle. Dangers des courants électriques*, par L. Zacon (in-8°, 250 × 165 de III-208 p. avec 94 fig.). Paris, Société d'Éditions techniques, 1907. (Don de l'éditeur.) 45054

Enseignement.

Annual Calendar of Mc. Gill College and University, Montreal. Session 1907-1908 (in-8°, 220 × 145 de LI-330 p.). Montreal, Printed for the University by the Gazette Printing Cy, 1907. 44990

Géologie et Sciences naturelles diverses.

PELLEGRIN (J.) et CAYLA (V.). — *Zoologie appliquée en France et aux Colonies*, par Jacques Pellegrin et Victor Cayla (Bibliothèque du Conducteur de Travaux publics) (in-16, 185 × 125 de XII-644 p. avec 280 fig.). Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1907. (Don des éditeurs.) 44981

Législation.

Annuaire de l'Association internationale pour la protection de la propriété industrielle. 10e année. 1906. Réunion de Milan 13-16 septembre 1906 (in-8°, 230 × 150 de XXIII-252 p.). Paris, H. Le Soudier, 1907. 45016

Annuaire de la Société amicale des anciens Élèves de l'École nationale des Mines de Saint-Étienne. 1907 (in-16, 150 × 110 de 299 p.). Saint-Étienne, à l'École des Mines. 44989

Directory of the Engineers' Club Philadelphia 1907. Corrected to May 13 th. incl. (in-32, 130 × 80 de 142 p.). Philadelphia, 1907. 44977

Gevers (J. et Cie). — *Dictionnaire des Brevets groupant en 3 000 catégories tous les Brevets délivrés en Belgique de 1830 à 1907*, par Jacques Gevers et Cie (une brochure 220 × 130 de 104 p.). Anvers, Imp. Laporte et Dosse. (Don des auteurs.) 45041

List of Members of the Institution of Civil Engineers. 1 July, 1907 (in-8°, 215 × 140 de 133 p.). London, Published by the Institution, 1907. 44987

República Argentina. 1907. Proyectos de nuevas Leyes de Patentes de Invencion y Marcas (in-8°, 215 × 185 de 34 p.). Buenos Aires, Imp. de M. Biedma é Hijo, 1907. (Don de MM. Obligado et Co.) 45034

Rules and List of Members of the Iron and Steel Institute. Corrected to July 1 (in-8°, 220 × 140 de cxxxvi p.). London, Published at the Offices of the Institute. 45010

The Institution of Electrical Engineers. Articles of Association and List Officers and Members. Corrected to August 31st. 1907 (in-8°, 215 × 135 de 248 p.). London, Unwin Brothers Limited. 45069

Métallurgie et Mines.

Bonvillain (Ph.). — *Les progrès récents en moulage mécanique*, par Ph. Bonvillain. Communication faite par M. Ph. Bonvillain, de Paris, au Joint Meeting de l'Iron and Steel Institute et de la Société des Ingénieurs des Mines des États-Unis d'Amérique de Londres, juillet 1906. (Traduction publiée dans le Journal l'Usine des 13 et 20 septembre 1906) (in-4°, 270 × 220 de 15 p. à 2 col. avec 19 fig.). Charleville, Imprimerie spéciale de l'Usine, 1905. (Don de l'auteur, M. de la S.) 45029

Comité des Forges de France. Annuaire 1907-1908 (in-8°, 220 × 185 de 743-vi-48-lvi pages). Paris, 63, Boulevard Haussmann. 45033

Comité des Forges de France. Assemblée générale ordinaire du 17 Mai 1907. Dîner et réunion du 16 Mai 1907. Rapports et Compte rendu (in-4°, 270 × 215 de 41 p.). Paris, 63, Boulevard Haussmann, 1907. 44998

Demangeon (A.). — *L'Industrie aurifère en Colombie*, par M. A. Demangeon (Extrait du Bulletin de la Société Française des Ingénieurs Coloniaux, 1906-1907) (in-8°, 235 × 155 de 231 p. avec fig.). Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1907. (Don des éditeurs.) 45056

Georgeot. — *Fabrication du fer-blanc*, par M. Georgeot. Deuxième édition revue et corrigée (in-8°, 210 × 140 de 92 p. avec 19 fig.). Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1907. (Don des éditeurs.) 45006

JEANSON (Ch.), LEBRETON (F.), CAMPREDON (L.), MAILLARD (L.). — *Annuaire et Aide-mémoire des Mines, de la Métallurgie et de la Construction mécanique* (Fondé en 1876 par Ch. Janson.) Rédigé par MM. F. Lebreton, L. Campredon, L. Maillard. *Édition 1903-1907*, complètement refondue et augmentée de parties nouvelles et illustrée de 125 figures et de 71 cartes minières inédites. *28e volume* (in-8°, 245 × 155 de VIII-808-64 pages.) Paris, E. Bernard, 1907. (Don de l'éditeur.) 45074

OBALSKI (J.). — *Opérations minières dans la Province de Québec pour l'année 1906*, par J. Obalski (Département de la Colonisation, des Mines et des Pêcheries) (in-8°, 255 × 165 de 63 p. avec 14 photog. et 1 carte.) Québec, Imprimé par Charles Pageau. 45030

Recueils statistiques sur les métaux, plomb, cuivre, zinc, étain, nickel, aluminium, mercure et argent, établis par la Metallgesellschaft et la Metallurgiseke Gesellschaft A.-G. (13e année 1897-1906) (in-4°, 270 × 210 de XXX-111 p.). Francfort-sur-Mein, Avril 1907. 45055

RÉVILLON (L.). — *Les aciers spéciaux*. par M. L. Révillon (Encyclopédie scientifique des aide-mémoire) (in-8° 190 × 120 de 188 p. avec 36 fig.). Paris, Gauthier-Villars; Masson et Cie, 1907. (Don de l'auteur, M. de la S. et de l'éditeur.) 45053

ROSAMBERT (Ch.). — *Exposition des procédés de trempe (Vienne Mai-Juillet 1906)*, par M. Ch. Rosambert (Extrait de la Revue de Métallurgie, Paris, Avril 1907, pages 346 à 380) (in-4°, 270 × 220, de 35 p. avec 24 fig.). Paris, Revue de Métallurgie, 1907. (Don de l'auteur, M. de la S.) 44994

Statistique des houillères en France et en Belgique publiée sous la direction de Émile Delecroix. *Janvier 1907* (in-8°, 255 × 165 de 574 p.). Lille, L. Danel; Bruxelles, Mayolez et Audiarte. 44993

Transactions of the American Institute of Mining Engineers. Vol. XXXVII. Containing the Papers and Discussions of 1906 (in-8°, 245 × 155 de LXXXVI-954 p.). New York, Published by the Institute, 1907. 45037

Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy. Sixteenth session 1906-1907. Volume XVI (in-8°, 215 × 140 de VIII-444 p.). London, E. and F.-N. Spon. 45060

Navigation aérienne, intérieure et maritime.

BUNAU-VARILLA (Ph.). — *Le détroit de Panama. Documents relatifs à la solution parfaite du problème de Panama (Détroit libre, large et profond)*, par Philippe Bunau-Varilla (in-8°, 255 × 165 de 306 p. avec fig. et 1 pl.). Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1907. (Don des éditeurs.) 45064

CACHEUX (Ém.). — *Congrès des Pêches maritimes. Bordeaux 1907. Amélioration du logement des marins pêcheurs*, par Émile Cacheux (in-8°, 240 × 160 de 11 p.). Orléans, Imp. Auguste Gout et Cie. (Don de l'auteur, M. de la S.) 45081

CORTHELL (E.-L.). — *Port of Para, Brazil*, by Elmer L. Corthell (Permanent International Association of Navigation Congresses) (in-8°, 235 × 155 de 13 p. avec 5 pl.). Brussels, Printing Office of the Public Works, 1907. (Don de l'auteur, M. de la S.) 45011

DIBOS (M.). — *Considérations sur un avant-projet de création d'une Compagnie française maritime de sauvetage et renflouage des navires.* par M. M. Dibós. (Extrait du Bulletin de l'Association technique maritime. N° 18. Session de 1907) (in-8°, 270 × 180 de 19 p.). Paris, Gauthier-Villars, 1907. (Don de l'auteur, M. de la S.) 45046

ESPITALLIER (G.). — *Aéronautique. La technique du ballon*, par G. Espitallier (Encyclopédie scientifique publiée sous la direction du Dr Toulouse. Bibliothèque de Mécanique appliquée et Génie, Directeur : M. d'Ocagne) (in-18, 180 × 120 de XVI-467-XII p. avec 108 fig.). Paris, Octave Doin, 1907. (Don de l'éditeur.) 44980

Institute of Marine Engineers. Session 1906-1907. Eighteenth Annual Volume (in-8°, 210 × 135). London, 1907. 45052

TIMONOFF (V.-E.). — *Amélioration de l'embouchure des grands fleuves débouchant dans les mers sans marée.* Rapport de M. V.-E. Timonoff (in-8°, 250 × 170 de 36 p. avec 2 pl.). Saint-Pétersbourg, 1907. (Don de l'auteur, M. de la S.) 45044

Transactions of the Institution of Navals Architects. Volume XLIX. 1907 (in-4°, 290 × 215 de LII-334 p. avec XLII pl.). London, Henry Sotheran and C°, 1907. 45061

Physique.

HANARTE (G.). — *Des emplois dynamiques de l'air*, par Gustave Hanarte. Études comparatives publiées à l'occasion de l'Exposition provinciale du Limbourg, à Saint-Trond (Campine) (in-8°, 235 × 165 de 43 p. avec 17 fig. et 3 diagrammes). Mons, Imprimerie Dequesne-Masquillier et fils, 1907. (Don de l'auteur, M. de la S.) 45080

Routes.

LALLEMAND (Ch.). — *Cercle azimutal réitérateur à microscopes et à lectures directes*, par M. Ch. Lallemand (Extrait des Comptes rendus de l'Association Française pour l'avancement des sciences. Congrès de Lyon, 1906) (in-8°, 250 × 165 de 4 p. avec 4 fig.). Paris, Secrétariat de l'Association. (Don de l'auteur.) 44983

Sciences mathématiques.

FUZET (H.) et RECLUS (L.). — *Précis de Mathématiques commerciales et financières*, par H. Fuzet et L. Reclus (in-18, 185 × 120 de VI-568-9 pages). Paris, Ch. Delagrave. (Don de l'éditeur.) 44979

LALLEMAND (Ch.). — *Règle logarithmique à calculs avec echelles fractionnées du Service technique du Cadastre,* par M. Ch. Lallemand. (Extrait des Comptes rendus de l'Association Française pour l'avancement des sciences. Congrès de Lyon. 1906) (in-8°, 250 × 165 de 5 p. avec 1 fig.). Paris, Secrétariat de l'Association. (Don de l'auteur.) 44984

ROZÉ (P.). — *Théorie et usage de la règle à calculs* (Règle des Ecoles. Règle Mannheim), par P. Rozé (in-8°, 230 × 140 de VI-118 p. avec 85 fig. et 1 pl.). Paris, Gauthier-Villars, 1907. (Don de l'éditeur.) 45078

Sciences Morales. — Divers.

NANSOUTY (M. DE). — *Fantasias,* par Max de Nansouty (in-18, 185 × 120 de 318 p.). Paris, Boivin et Cie. (Don de l'éditeur.) 45031

Samuel Pierpont Langley, Secretary of the Smithsonian Institution 1887-1906. Memorial Meeting December 3, 1906. Addresses by Doctor White; Professor Pickering and Mr. Chanute (Smithsonian Miscellaneous Collections, Part of vol. XLIX) (in-8°, 245 × 160 de 49 p.). City of Washington, Published by the Smithsonian Institution, 1907. (Don de M. Chanute, M. de la S.) 45036

Technologie générale.

Association Française pour l'avancement des sciences. Compte rendu de la 35e session. Lyon 1906. Notes et Mémoires (in-8°, 245 × 155 de 1442 p. avec 4 pl.). Paris, au Secrétariat de l'Association, 1907. 45005

Atti della R. Accademia dei Lincei. Anno CCCIV. 1907. Rendiconto dell'Adunanza solenne del 2 giugno 1907. Vol. II. pages 269 à 349 (in-4°, 300 × 220 de 71 pages). Roma, Tipografia della R. Accademia, 1907. 45000

Bulletin de la Société industrielle de Reims. 1907. Tome dix-neuvième. N° 92 (in-8°, 240 × 155, pages 125 à 214). Reims, A. Marguin, 1907. 45079

CLAUDEL (J.), DARIÈS (G.). — *Formules, tables et renseignements usuels. Aide-mémoire des Ingénieurs, des Architectes, etc. Partie pratique,* par J. Claudel. Onzième édition entièrement refondue, revue et corrigée par de nombreux collaborateurs sous la direction de Georges Dariès. *Tome second* (in-8°, 230 × 140 de XVI-1290 p. avec 615 fig. et 1 pl.). Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1907. (Don des éditeurs.) 45065

Congrès des Sociétés savantes à Montpellier. Discours prononcés à la séance générale du Congrès le samedi 6 avril 1907 par M. Gaston Darbour, M. Vigié, M. Ch. Flahaut, et M. Dujardin-Beaumetz (in-8°, 260 × 175 de 58 p.). Paris, Imprimerie nationale, 1907. 44996

Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers; with other and selected and abstracted Papers. Vol. CLXVIII. 1906-7. Part. II. (in-8°, 215 × 135 de VII-455 p. avec 5 pl.). London, Published by the Institution, 1907. 45002

I. Nachtrag zum Katalog der Bibliothek der Königlichen Technischen Hochschule zu Berlin (in-8°, 265 × 185 de 383 p.). Berlin, Denter und Nicolas, 1907. (Don de Königlischen Technischen Hochschule zu Berlin.) 45067

Picard (A.). — *Exposition universelle internationale de 1900 à Paris. Le Bilan d'un siècle, 1801-1900,* par M. Alfred Picard. *Tome sixième. Hygiène, Assistance, Colonisation, Défense nationale* (République Française, Ministère du Commerce, de l'Industrie et du Travail) (in-8°, 295 × 195 de 353 p.). Paris, Imprimerie nationale, 1907. (Don de l'auteur, M. de la S.) 44982

Programme du Congrès des Sociétés savantes à la Sorbone en 1908 (Ministère de l'Instruction publique et des Beaux-Arts. Comité des Travaux historiques et scientifiques) (in-8°, 260 × 170 de 20 p.). Paris, Imprimerie nationale, 1907. 44997

Rapports du Jury international. Groupe IV. Matériel et Procédés généraux de la Mecanique. Première partie. Classe 19 (Ministère du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes. Exposition universelle internationale de 1900 à Paris) (in-8°, 295 × 195 de 688 p.). Paris, Imprimerie nationale, 1907. (Don de M. le Commissaire général de l'Exposition universelle de 1900.) 45001

Rapports du Jury international. Introduction générale. Tome IV. Cinquième partie. Agriculture, Horticulture, Aliments. Deuxième section (Ministère du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes. Exposition universelle internationale de 1900 à Paris) (in-8°, 295 × 195 de 752 p. avec fig.). Paris, Imprimerie nationale, 1906. (Don de M le Commissaire général de l'Exposition universelle de 1900.) 45035

Rapports du Jury international. Introduction générale. Tome IV. Cinquième partie. Agriculture, Horticulture, Aliments. Troisième section (Ministère du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes. Exposition universelle internationale de 1900 à Paris) (in-8°, 295 × 195 de 674 p.). Paris, Imprimerie nationale, 1906. (Don de M. le Commissaire général de l'Exposition universelle de 1900.) 45058

Société industrielle de Mulhouse. Programme des prix proposés en assemblée générale les 29 Mai et 26 Juin 1907 à décerner en 1908 (in-8°, 255 × 165 de 62 p.). Mulhouse, Imprimerie Vve Bader et Cie, 1907. 45051

Société industrielle de Saint-Quentin et de l'Aisne. Bulletin n° 52. Tome Ier et Tome IIe. 1906 (2 volumes in-8°, 250 × 165 de 121-66 p. et de 51-76 p.). Saint-Quentin, Imprimerie typographique et lithographique du Guetteur, 1906. 45017 et 45018

The Institution of Mechanical Engineers. Proceedings. 1906. Parts 3-4 (in-8°, 215 × 135 de v-620 p. avec 49 pl.). London, Published by the Institution. 44986

The Journal of the Iron and Steel Institute. Vol. LXXIII. N° I, 1907 (in-8°, 220 × 140 de xvi-638 p. avec 30 pl.). London, E. and F.-N. Spon, Limited, 1907. 45050

The Journal of the Iron and Steel Institute. Vol. LXXIV. N° II. 1907 (in-8°, 220 × 140 viii-247 p. avec 45 pl.). London, E. and F.-N. Spon 1907. 45009

Transactions of the American Society of Civil Engineers. Vol. LVIII. June 1907 (in-8°, 230 × 250 de vii-568 p. avec 69 pl.). New York, Published by the Society, 1907. 45014

Travaux publics.

Annual Report of the Chief of Engineers. United States Army, for the fiscal Year ended June 30, 1906. In two parts. Part I and II (2vol. in-8°, 235 × 145). Washington, Government Printing Office, 1905. 44975 et 44976

Annual Reports of the War Department, for the fiscal Year ended June 30. 1905. Vol. 5, 6, 7, 8. Report of the Chief of Engineers. Part 1, 2, 3. Supplement to the Report of the Chief of Engineers. Report of the Mississippi River Commission (4 vol. in-8°, 235 × 145). Washington, Government Printing Office, 1905. 44971 à 44974

Arkhitektournyi ejeghodnike. Izdanie Obstchestva Ghrajdanskikhe Injeniérove. 1906 (in-4°, 310 × 245 de 69 p. avec pl.). (Don de la Société des Ingénieurs Civils de Russie.) 45038

DARTEIN (F. DE). — *Études sur les ponts en pierre remarquables par leur décoration antérieurs au XIXe siècle, par F. de Dartein. Volume II. Ponts français du XVIIIe siècle. Centre de la France* (in-4°, 330 × 250 de xv-281 p. avec un portrait de Perronet, 19 fig. et 49 pl.). Paris, Ch. Béranger, 1907. (Don de M. A. Brüll, M. de la S., de la part de l'auteur.) 45063

ESPITALLIER (Lt-Cl G.). — *Le sol de nos routes et de nos rues*, par M. le Lieutenant-Colonel Espitallier (Société d'Encouragement pour l'industrie nationale. Extrait du Bulletin de Mai 1907) (in-4°, 270 × 220 de 22 p. avec 2 fig.). Paris, Typographie Philippe Renouard, 1907. (Don de l'auteur, M. de la S.) 45039

Le Béton armé. Organe des Agents et Concessionnaires du système Hennebique. Dixième année. Mai 1907. Numéro 108 bis. Relevé des travaux exécutés en 1906 (in-4°, 315 × 215 de 145 p. avec 68 fig.). Paris, 1, Rue Danton. (Don de M. Hennebique, M. de la S.) 44985

TÉDESCO (N. DE) FORESTIER (V.). — *Recueil de types de ponts pour routes en ciment armé, calculés conformément à la circulaire ministérielle du 20 octobre 1906*, par N. de Tédesco, avec la collaboration de Victor Forestier (Encyclopédie des Travaux publics fondée par M.-C. Lechalas) (in-8°, 255 × 165 de 307 p. avec 54 fig. et atlas 320 × 260 de 8 pl.). Paris, Ch. Béranger, 1907. (Don de l'éditeur.) 45070 et 45071

Voies et Moyens de communication et de transport.

LIDGERWOOD. — *The Lidgerwood-Miller Marine Cableway, for Coaling in a Seaway* (in-4°, 280 × 210 de 48 p. avec 43 fig.). New York, Lidgerwood Manufacturing Company, 1907. (Don de l'auteur.) 45066

MEMBRES NOUVELLEMENT ADMIS

Les Membres nouvellement admis pendant le mois d'octobre 1907, sont :

Comme Membres Sociétaires Titulaires, MM. :

H. Albinet, présenté par MM. Derval, Guillet, H. Legenisel.
F. de Castro, — Cornuault, P. Besson, de Dax.
H. Delalande, — Brocq, Frager. A. Postel-Vinay.
S. Gerster, — A. Niclausse, Rambaut, Rebut.
J. Hanscotte, — Avisse, A. Mallet, Rousseau.
R.-L. Humphrey, — Corthell, Chanute, W. Parson.
A. Prat, — Cornuault; Groselier, Masson.
P. Perdreau, — Chevalier, A. Nessi, J. Nessi.
L. Prugnaud, — Coulomb, Lardy, Le Doyen.
P. Sauvage, — Gauthier, Latour, Mejean.
Ch. Schertzmann, — Cavallier, Julliot, Roulleau.
L. Schlüssel, — Brocq, A. Dumas, Krieg.
A. Steger, — Cornuault, Pierson, L. Masson.
F. Turquais, — Chamon, Demenge, Frager.

Comme Membres Sociétaires Assistants, MM. :

R. Baillot, présenté par MM. Delrez, Drouin, Lenicque.
E. Fleury, — Cornuault, Brillié, Taupiat de Saint-Symeux.
B. Hoppenot, — Huguenot, Poron, Portal.
L. Poron, — Huguenot, Poron, Portal.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU MOIS D'OCTOBRE 1907

PROCÈS-VERBAL

DE LA

SÉANCE DU 4 OCTOBRE 1907

Présidence de M. E. Cornuault, Président.

La séance est ouverte à huit heures trois quarts.

Le procès-verbal de la précédente séance est adopté.

M. le Président a le regret de faire connaître un nombre considérable de décès survenus pendant les vacances; ce sont ceux de MM :

E. Albaret, Membre de la Société depuis 1863, Ingénieur en chef du Service central de la construction de la Compagnie des Chemins de fer P.-L.-M., en retraite, chevalier de la Légion d'honneur;

A. Bonnet, Membre de la Société depuis 1900. A été Directeur de l'École Nationale Professionnelle de Voiron, Ingénieur-Chimiste, Directeur technique de la teinturerie Clément-Marot, Inspecteur départemental de l'enseignement technique;

P. Brocchi, ancien élève de l'École des Arts et Métiers d'Angers (1871), Membre de la Société depuis 1883. A été Ingénieur de la maison Geneste et Herscher, Ingénieur de la Société industrielle de Creil;

A. Duroy de Bruignac, ancien élève de l'École Centrale (1855), Membre de la Société depuis 1861, lauréat de l'Institut (Académie des Sciences), travaux sur l'aéronautique, le travail des hélices et carènes, la stabilité des bateaux, etc.;

Ch. Dollfus-Galline, Membre de la Société depuis 1896, Président du Conseil d'administration de la Compagnie des produits chimiques de Marseille-l'Estaque et du Conseil d'administration de la Compagnie des phosphates et du chemin de fer de Sfax à Gafsa, chevalier de la Légion d'honneur;

A. Duparchy, Membre de la Société depuis 1897, Entrepreneur de travaux publics, chevalier de la Légion d'honneur;

E. Faugère, ancien élève de l'École des Arts et Métiers d'Angers (1851), Membre de la Société depuis 1890, Président du Conseil d'administration de la Compagnie des chemins de fer d'intérêt local de l'Anjou. concessionnaire et constructeur de chemins de fer, chevalier de la Légion d'honneur;

L. Herpin, ancien élève de l'École Centrale (1853), Membre de la Société depuis 1864, Ingénieur des travaux neufs au Chemin de fer du Nord, en retraite;

P. Liot, Membre de la Société depuis 1906. A dirigé le Bureau des études des machines-outils à l'atelier de Puteaux, Ingénieur civil;

Ch. Mariez, ancien élève de l'Ecole Centrale (1868), Membre de la Société depuis 1881, Directeur de la Compagnie du gaz de Nancy;

A. Paul-Dubos, ancien élève de l'École Centrale (1851), Membre de la Société depuis 1859, Membre du Comité en 1879, fabricant de bétons agglomérés et polychromés;

F. Poncin, ancien élève de l'École Centrale (1852), Membre de la Société depuis 1859, Administrateur de la Compagnie du gaz de Rouen;

A. Rouzet, ancien élève de l'École des Arts et Métiers d'Aix, Membre de la Société depuis 1898, Administrateur de la Société de combustibles et Administrateur-Gérant de la Société A. Rouzet et Cie, Ciments portland artificiels de la Touraine;

A. Saglio, ancien élève de l'École Centrale (1873), Membre de la Société depuis 1881, Maître de forges;

H. Theurkauff, ancien élève de l'École Centrale (1866), Membre de la Société depuis 1869, Manufacturier, Président de la Chambre syndicale des Fabricants d'articles métalliques pour merceries et confections;

A. Thomas, ancien élève de l'École des Arts et Manufactures de Gand (1866), Membre de la Société depuis 1885. A été Ingénieur-Directeur des verreries de Vauxrot, Ingénieur-Constructeur de ressorts.

M. le Président adresse aux familles de ces regrettés collègues l'expression des sentiments de douloureuse sympathie de la Société.

M. le Président est heureux d'annoncer à la Société les décorations et nominations suivantes :

Officier de la Légion d'honneur : M. G. Darrieus;

Chevaliers de la Légion d'honneur : MM. L. Demerliac, Ad. Hugot, A.-L.-L. Lebon, Ch. Bartaumieux, Émile Kœchlin;

Officiers de l'Instruction publique : MM. G. Brunon, P.-H. Ferrand, E.-L. Surcouf;

Officiers d'Académie : MM. G. Allamel, E. Bourgeois, André Cornuault, Robert Ellissen, E. Louyot;

Officier du Mérite agricole : M. A.-A. Vautier;

Chevaliers du Mérite agricole : MM. F.-A. Fernez, A.-M. Pifre, P.-N. Sicault;

Grand-Croix de la Conception (Portugal) : M. Georges Hersent;

Commandeur de San-Thiago (Portugal) : MM. Jean Hersent, A. Maury, L. Strauss;

Commandeur du Christ de Portugal : M. M. Douau, et chevalier du même ordre, M. Ch. Odent;

Commandeur de l'ordre de Léopold de Belgique : M. L. Coiseau, ancien Président;

Chevalier du même ordre : M. Ed. Henry;

Commandeur du Nichan Iftikar : M. F. Raty;

Officier du Lion et du Soleil de Perse : M. M. Castelnau.

Ont été nommés Conseillers du commerce extérieur : MM. L. Gaumont. H. Laval, J. Lopes-Dias, F. Mahoudeau, G. Meyer.

M. le Président adresse à tous ces collègues les vives félicitations de la Société.

M. le Président dépose sur le Bureau la liste des ouvrages reçus depuis la dernière séance.

Cette liste sera insérée dans l'un des plus prochains Bulletins.

M. le Président a le plaisir de faire connaître que M. René Grosdidier, notre Collègue, vient de faire à nouveau, comme tous les ans à pareille époque, un don de 64 f.

M. le Président adresse ses remerciements à M. Grosdidier.

M. G. Marié, à la date du 1er octobre, a remis un pli cacheté. Conformément aux traditions, ce pli a été déposé aux Archives.

M. le Président donne connaissance des avis suivants :

L'Office national du Commerce Extérieur fait connaître que : 1° le Gouvernement Ottoman doit faire installer sur l'Euphrate un barrage mobile à vannettes d'une longueur de 250 m ; 2° une Compagnie brésilienne de chemins de fer a décidé le prolongement du chemin de fer d'Araquera. Les documents relatifs à ces entreprises peuvent être consultés au siège de la Société, ou à l'Office national du Commerce Extérieur.

A l'occasion de l'Exposition décennale de l'Automobile, un Congrès des Applications de l'Alcool dénaturé se tiendra en novembre prochain. M. le Président ne saurait trop attirer l'attention des Membres de la Société sur ce Congrès dont l'importance et l'actualité n'échapperont à personne.

Le Troisième Congrès national des Travaux publics Français, sous l'auspice de l'Association française pour le développement des Travaux Publics, se tiendra à Bordeaux du 9 au 12 octobre prochain.

La Société Technique Impériale Russe, à Saint-Pétersbourg, organise dans ses locaux, en décembre 1907, une Exposition Internationale d'Appareils modernes d'Éclairage et de Chauffage.

Les constructeurs français sont tout spécialement invités à prendre part à cette Exposition.

Le Sixième Congrès des Chambres Syndicales de France se tiendra du 7 au 12 octobre courant, au Conservatoire national des Arts et Métiers.

Le Comité français des Expositions à l'Étranger fait connaître qu'une Exposition franco-britannique se tiendra à Londres en 1908.

M. le Président fait remarquer que cette Exposition est un peu la suite de celles qui ont eu lieu à Liége et à Milan; elle est aussi organisée sous les auspices du Comité français des Expositions à l'étranger. Elle sera fort importante.

Le Quarante-sixième Congrès des Sociétés Savantes s'ouvrira à Paris, à la Sorbonne, le mardi 21 avril 1908.

Les documents relatifs à ces divers Congrès et Expositions peuvent être consultés à la Bibliothèque.

M. le Président donne quelques renseignements complémentaires au sujet de la visite aux usines hydro-électriques du Littoral Méditerranéen, qui va avoir lieu du 7 au 13 courant, ainsi que sur son organisation et son programme.

M. J.-Ambroise Farcot a la parole pour sa communication sur *les Moteurs légers à explosion, avec refroidissement par l'air.*

M. J.-Ambroise Farcot expose, d'abord, l'importance de la légèreté des moteurs pour les applications qui sont à l'ordre du jour.

On a cherché à faire des moteurs légers à vapeur, à explosifs, à éther, acide carbonique, ammoniaque, etc., des turbines, des moteurs rotatifs et des moteurs à explosion, légers.

Ces derniers sont spécialement l'objet de la présente communication.

1° Moteurs légers à vapeur :

Les recherches de M. de Dion, de M. Ader, du commandant Renard, de M. Serpollet, etc., ont montré combien il a été difficile d'arriver à un poids suffisamment réduit pour l'aviation. Grâce à des dispositifs ingénieux, M. Ader a cependant réussi à employer un moteur à vapeur pour la propulsion de son *Avion n° 3*, avec lequel il a pu, déjà en 1897, effectuer un bond de 300 m. Cet essai a fourni de précieuses indications pour l'avenir de l'aviation.

2° Moteurs à explosifs :

Ces moteurs datent de fort longtemps, mais n'ont jamais pu recevoir d'applications industrielles, à cause des dangers qu'ils présentent.

3° Moteurs à éther, acide carbonique, ammoniaque, etc. :

Malgré les tentatives des chercheurs, les espérances que leurs théories donnaient, ces moteurs n'ont pas fourni de bons résultats dans la pratique.

On a rencontré de grandes difficultés pour obtenir une étanchéité suffisante des joints. Les liquides attaquent le métal. D'autre part, le poids par cheval que ces moteurs atteignaient, détourne l'attention de leur type pour la question actuelle.

4° Turbines, Moteurs rotatifs :

La question des turbines semble être celle de l'avenir, mais la turbine, à vapeur au moins, nécessite un générateur qui est lourd par lui-même et c'est pourquoi les recherches ont été limitées.

Quant à la question des moteurs rotatifs, elle n'a pas avancé, et il ne semble pas que ces moteurs doivent être plus légers que les précédents. Il est même probable qu'ils seront, en tous cas, plus lourds que les turbines.

5° Moteurs à explosion :

Ce sont ces moteurs qui ont donné les meilleurs résultats jusqu'à présent, au point de vue pratique et économique.

Pour les alléger, une des questions qui semble le plus utile à examiner, est celle du refroidissement des parois. C'est à cette étude que M. Farcot consacre la plus grande partie de sa communication. Ce refroidissement se fait, soit par l'air, soit par l'eau.

Le refroidissement par l'eau presque uniquement employé actuellement, sauf pour les très petits moteurs, nécessite des organes accessoires, tels que pompes, radiateurs, tuyauteries, et une double enveloppe du cylindre.

Ces appareils sont lourds, sont fragiles, et peuvent être facilement avariés par les gelées, de même que les joints se défont facilement et que l'échauffement irrégulier du cylindre produit des ruptures.

Le refroidissement méthodique par l'air semble à M. Farcot devoir être la solution de toutes ces difficultés.

Plusieurs constructeurs ont fait des essais dans cet ordre d'idées. M. Farcot les cite et montre les figures qui représentent plusieurs des moteurs Knox, Rankin, Kennedy, Frayer-Millet, Adams, Auriol, Esnault Pelterie.

Il décrit ensuite l'aéromoteur, pour groupe propulseur aviateur, qu'il a lui-même imaginé.

Il comporte deux cylindres en V, avec une seule soupape par cylindre, et son hélice propulsive forme volant, par suite de deux petites masses disposées convenablement, sur les branches de cette hélice.

Une seule came règle la distribution et la même soupape permet l'échappement et l'aspiration. Un pot d'échappement sert de récupérateur de chaleur au moment de l'aspiration et le mélange intime, entre l'air aspiré et l'air sursaturé du carburateur, a lieu à l'entrée même du cylindre. Une manette d'entrée d'air additionnel, réglable, est disposée sur chaque cylindre.

Le guide de soupape est rendu étanche par suite d'un joint en cuivre rouge, de même forme que ceux employés pour les presses hydrauliques. Le carburateur est très simplifié et très léger; il se compose d'un simple gicleur et d'un flotteur à niveau constant. La tuyauterie est de faible section, il n'y circule que de l'air sursaturé d'essence et par conséquent impropre à la combustion, mais qui devient mélange tonnant au moment de l'utilisation par suite de l'addition d'air au moment de l'aspiration.

Le refroidissement du moteur est obtenu par l'utilisation du courant d'air de l'hélice. Ce courant d'air décrit un tronc de cône convergent du côté du moteur. Un dispositif spécial dirige alors le jet d'air sur les organes à refroidir.

Une particularité de ce moteur est que les cylindres sont désaxés par rapport à l'axe du vilebrequin; il en résulte plus de douceur et une augmentation de rendement.

Le poids total du groupe est de 25 kg pour une puissance de 12 HP. C'est donc le moteur le plus léger de ceux existants.

M. Farcot a construit aussi un aéromoteur de 100 HP.

Les cylindres sont disposés par deux groupes de quatre en V, pour réduire l'encombrement à son minimum et faciliter le refroidissement.

Il en résulte également une augmentation dans la souplesse et la suppression du volant, l'hélice du ventilateur en tenant lieu.

Sous l'aspiration produite par le ventilateur, tournant dès que le moteur est en marche, l'air froid extérieur se précipite en un courant rapide par les fenêtres de l'enveloppe du moteur sur les parties chaudes, et les maintient à une température constante et convenable pour le bon fonctionnement du moteur.

Ce dispositif de refroidissement est très énergique et d'autant plus efficace qu'on peut le répartir d'une manière simple et rationnelle sur les surfaces plus ou moins chaudes, par un choix judicieux des grandeurs et des emplacements des fenêtres, faites en vue de la meilleure utilisation de l'air.

Le graissage a lieu sous pression, par l'intermédiaire d'une pompe dont le principe est basé sur les différences de pression exercées sur les deux faces d'un tiroir, ce qui a permis d'obtenir une très grande légèreté de cet organe.

Les bielles sont accouplées, deux à deux, par un dispositif spécial, de façon à diminuer les efforts dus à leur obliquité.

Le ventilateur établi avec le concours de M. Emmanuel Farcot, fils, Constructeur à la Plaine Saint-Denis, a permis de réaliser ce genre de refroidissement avec les plus grandes facilités.

Les essais ont enregistré une puissance de 90 à 110 HP à 1 200 tours, au moyen d'un frein à air capable de provoquer une résistance équilibrant la puissance indiquée.

Le moteur était monté sur un châssis mobile et portait un levier calculé pour permettre d'enregistrer la puissance à tout instant, en multipliant le poids indiqué sur le levier, par le nombre de tours, lu sur un tachymètre et en divisant par 1 000.

Au prochain Salon d'Automobiles, sera exposé un moteur à pétrole 4 cylindres, muni d'un nouveau dynamomètre mécanique, système de M. François Farcot, dout la sensibilité est considérable.

En effet, les essais officiels faits dernièrement au Conservatoire des Arts et Métiers, ont démontré que le coefficient de sensibilité de cet appareil est de 99 0/0.

Le principe de cet appareil est basé sur l'utilisation de la réaction d'une force sur un plan incliné.

Ce dynamomètre est complété par un nouveau frein permettant, en marche, par la simple manœuvre d'un levier, de donner la résistance nécessaire pour absorber la force développée par le moteur.

Cet appareil est donc appelé, suivant M. Farcot, à rendre de grands services dans le monde automobile, en supprimant l'emploi du frein de Prony et des dynamos-freins.

Un moteur de puissance aussi importante a obligé d'imaginer un appareil de mise en marche automatique qui a donné d'excellents résultats tout en étant d'un poids extrêmement réduit.

Cet appareil permet la mise en marche progressive du moteur par la simple manœuvre d'un robinet de faible dimension.

Sur le même principe de refroidissement, M. Farcot a établi différents types applicables à l'automobile. Il présente le dessin d'un de ces aéromoteurs, monté sur un châssis de nouveau type, à changement de vitesse progressif, sans engrenages, ne comportant ni cône de friction, ni chaine.

Ce changement de vitesse, qui forme embrayage progressif, s'appliquera heureusement aux appareils d'aviation, pour lesquels il assurera une traction sensiblement constante de l'hélice, depuis le moment du départ jusqu'à la vitesse de régime de l'appareil.

M. Farcot termine en disant que :

Les aéromoteurs, par suite de leurs qualités nombreuses, sont destinés à prendre une place importante dans ce genre d'industrie. Ils trouveront leur application dans l'aviation, le tourisme, les canots, partout où la légèreté du moteur sera un des coefficients à réduire au minimum.

M. André demande si M. Farcot pense que l'on peut construire des moteurs à refroidissement par l'air, beaucoup plus puissants que celui qu'il vient de décrire et si le rendement serait aussi bon que pour le moteur actuel à refroidissement par l'eau.

M. Farcot répond qu'on ne pourrait le faire qu'en multipliant le nombre des cylindres, parce qu'il y a une limite, vite atteinte, à leur diamètre, et il semble actuellement qu'un moteur à huit cylindres est le plus multiplié que l'on puisse construire pratiquement.

M. le Président remercie M. Farcot de sa très intéressante communication sur les moteurs légers. C'est une question d'actualité au plus haut degré, étant donnée l'application à l'aviation et aux automobiles. Il ajoute que, puisque M. Farcot veut bien, comme il l'a dit, faire profiter ses collègues à la prochaine Exposition d'Automobiles, de son exposition spéciale, ils seront heureux, sous sa conduite, d'examiner de près les moteurs dont il a fait la description tout à l'heure. M. Ambroise Farcot a un nom qui oblige : il est le petit-fils de M. Farcot l'auteur de la détente, et le neveu de notre ancien Président, M. Joseph Farcot. *(Applaudissements.)*

M. Marcel Armengaud attire l'attention de la Société sur le moteur d'aéroplane construit par M. Esnault-Pelterie, notre Collègue.

Ce moteur est du type étoilé, c'est-à-dire que les cylindres sont radiaux et attaquent une seule manivelle et il offre, entre autres, les particularités principales suivantes :

Tout d'abord, les cylindres sont en nombre impair. De plus, pour assurer un bon graissage, tous les cylindres qui seraient théoriquement au-dessous de l'horizontale passant par l'arbre, sont reportés dans un plan parallèle à celui des autres; leurs pistons attaquent un maneton décalé de 180 degrés par rapport au maneton des autres cylindres. On obtient donc, de cette manière, un couple tout aussi uniforme que si les cylindres étaient dans un même plan.

Une seconde particularité intéressante également à signaler, est le système de distribution. L'admission et l'échappement se font, comme dans le moteur de M. Farcot, par une soupape double, à deux levées distinctes, commandée par une came à double bossage. Toutefois, grâce au fait que les cylindres sont disposés radialement et en nombre impair, il est possible de commander les soupapes par une came unique (en admettant que les cylindres sont tous dans un même plan), car, dans ce cas, les bossages peuvent être répartis uniformément sur la périphérie de la came. Cette came se dédouble en deux, décalées de 180 degrés, dans le cas où l'on adopte, comme le fait M. Esnault-Pelterie, deux plans de cylindres. La came peut aussi tourner très lentement, n fois moins vite que l'arbre moteur, si $n + 1$ est le nombre impair de cylindres. Dans le moteur construit, comme les cylindres sont au nombre de sept, la came tourne à une vitesse six fois moindre que l'arbre moteur.

Le nombre des bossages est d'une manière générale égal à $\frac{n}{2}$ qui est toujours un nombre entier puisque n est pair par définition. C'est donc trois bossages doubles que présente la came du moteur de M. Esnault-Pelterie.

M. Armengaud ajoute qu'on constate, en étudiant le système de distribution des moteurs étoilés, que, si le nombre des cylindres est un multiple de trois, l'on peut aussi diviser la périphérie de la came en parties égales, mais, dans ce cas, la came tourne, comme dans les moteurs à cylindres alignés et parallèles, à vitesse moitié de celle du moteur.

Il informe ses Collègues qu'ils pourront voir le moteur de M. Esnault-Pelterie au prochain Salon de l'Automobile.

Pour terminer, il signale que le moteur de sept cylindres de M. Esnault-Pelterie, qui fonctionne actuellement donne 35 HP et pèse 52 kg en ordre de marche, carburateur compris soit 1,50 kg par cheval. Avec l'hélice de l'aéroplane et son arbre le moteur pèse 60 kg, ce qui fait 1,72 kg par cheval.

Comme on le voit par ces chiffres, la puissance spécifique de ce moteur est très élevée et le rend donc particulièrement propre à l'aviation et à l'aérostation.

En réponse à la question de M. Auguste Dutreux, M. Armengaud indique que le moteur de M. Esnault-Pelterie est refroidi par un courant d'air qui vient lécher les ailettes dont sont munis les cylindres, courant d'air qui est, dans le cas de l'application du moteur à son aéroplane, uniquement créé par la marche rapide, 60 km à l'heure, à laquelle il se déplace.

M. J. Payet a la parole pour sa communication sur *la Manutention de la matière épurante dans les usines à gaz.*

M. J. Payet rappelle les divers procédés mis en œuvre pour assurer l'épuration chimique du gaz de houille et explique comment celui qui correspond à l'emploi de l'oxyde de fer est actuellement le plus général, en France, comme à l'étranger. Il a le gros avantage de permettre l'éli-

mination, s'il est employé judicieusement, de tous les éléments dont on se propose de dépouiller le gaz; il se prête, en outre, à une régénération facile par simple action de l'air. Il peut être employé, soit à l'état d'oxyde naturel ; soit à l'état d'oxyde artificiel, comme la matière Lux, par exemple; soit à l'état de mélange Laming, obtenu en incorporant à de la sciure de bois, qui agit comme support et comme diviseur, le résidu de l'action de la chaux sur du sulfate de fer.

Quelle que soit la matière employée, elle est renfermée dans des cuves généralement métalliques dont le modèle, malgré des dispositions spéciales proposées par certains inventeurs, est actuellement, jusque dans les installations récentes, aux dimensions près toutefois, le même que celui qui fut adopté dès l'origine de l'industrie du gaz, alors qu'on ne songeait nullement encore à la manutention mécanique.

Dans les petites installations, ces cuves sont le plus souvent au nombre de quatre dont, en permanence, trois fonctionnent en série, la quatrième servant de secours. Un jeu de vannes, ou un distributeur hydraulique sert, au moment voulu, à introduire, en fin de circuit, la cuve en attente et à mettre hors circuit, en vue de revivifier la matière y contenue, celle qui jusque-là était la première. Ce principe de trois cuves, ou de trois séries de *n* cuves, a trouvé, d'ailleurs, sa justification depuis que les progrès de l'industrie des cyanures ont prouvé l'intérêt de récupérer le cyanogène contenu dans le gaz. Après revivification, la matière se charge en bleu de Prusse dans la première série de cuves, de soufre dans la deuxième: la troisième série sert de sûreté.

Il a bien été indiqué, par différents inventeurs, divers procédés pour récupérer le cyanogène du gaz avant les cuves d'épuration, afin de prolonger la durée de service de la matière qu'elles contiennent; d'autre part, dans un but analogue, ou pour réduire la main-d'œuvre afférente à la manutention de la matière, il a été proposé de revivifier celle-ci dans les cuves elles-mêmes, soit en marche, soit à l'arrêt.

Mais, dans tous les cas, la pratique a prouvé que le remaniement de la matière s'imposait d'une façon inévitable et que le remplissage et la vidange des cuves étaient deux opérations fatalement nécessaires, sauf à être d'une fréquence plus ou moins grande.

Dans ces conditions, l'emploi de procédés mécaniques, lequel, s'il était étudié au point de vue économique pour le seul atelier de l'épuration, pourrait ne pas être reconnu avantageux, n'est souvent que la conséquence obligée d'autres considérations, ainsi que la généralisation de la manutention mécanique dans d'autres ateliers de l'usine, où elle s'impose, alors. Ces procédés varient évidemment avec l'importance de l'usine, suivant qu'on a eu à envisager le remaniement d'installations existantes ou la création d'ateliers nouveaux et suivant que les aires d'étendages, pour la revivification de la matière, se trouvent ou sont prévues :

Soit au même étage que les cuves;

Soit à un étage inférieur;

Soit à un étage supérieur.

Bien que chaque cas puisse être considéré comme un cas d'espèce, M. J. Payet indiquera, dans chacune des trois catégories précédentes, différentes solutions étudiées ou proposées. Il terminera par l'exposé de

dispositions qu'il a eu personnellement l'occasion d'imaginer. En tout cas, il ne s'occupera que des cuves fixes, puisque ce sont celles qui se trouvent, à une exception près peut-être, partout employées.

Ici, M. J. Payet signale que certains inventeurs, pour améliorer les conditions de travail de la matière dans les cuves et prolonger, par conséquent, sa durée de service, ont imaginé des claies spéciales qui évitent le tassement. Tel est le but principal des claies B.A.M.A.G. et des claies Jäger. Celles-ci, en outre, fractionnent la matière en petits paquets que l'on peut retirer un à un, lors de la vidange, et que l'ouvrier accole les uns aux autres, lors du remplissage. On évite ainsi le pelletage de l'opération de vidange.

Parmi les installations de la première catégorie, il y a lieu de signaler celle réalisée à l'usine à gaz du Landy, dans laquelle les cuves étaient placées sur deux rangées le long et près des murs longitudinaux; ceux-ci, au droit de chaque cuve, présentaient des ouvertures de même largeur que cette dernière. A l'origine, aucun dispositif mécanique n'avait été prévu. La situation fut améliorée par un système de bennes pouvant, dans l'intérieur de l'atelier, se mouvoir au-dessus des cuves, le long d'un double rail supérieur, dont fut muni le pont roulant destiné à la manœuvre des couvercles, et, à l'extérieur de l'atelier, dans le hall d'étendage, être portées par des chariots à deux roues. La liaison de ces deux moyens de transport des bennes fut réalisée par un bout de double rail placé dans l'axe de chaque fenêtre et supporté par les fermes de l'atelier.

Grâce à ce dispositif, on rendait plus faciles, sans toutefois les supprimer, les pelletages pour la vidange et ceux pour la reprise de la matière de sur les aires d'étendage. La durée de la double opération, qui consiste à vider et à remplir à nouveau une cuve, fut ainsi réduite de près d'un tiers.

Au lieu des camions prévus pour le transport de la matière dans le hall d'étendage, on peut concevoir tout un réseau de rails faisant suite à ceux situés à l'intérieur de l'atelier, portés par les ponts roulants. On a ainsi la solution qui paraît la plus avantageuse pour les installations de cette catégorie; c'est, d'ailleurs, celle adoptée à l'usine de Schlieren, près Zurich.

La seconde catégorie, celle où les étendages sont à un étage inférieur à celui des cuves, correspond aux installations modernes. Les cuves peuvent être disposées alors pour la vidange par le fond, sans pelletage par conséquent.

C'est le cas, notamment, des installations récentes de Versailles et de Bordeaux (usine de Bacalan), toutes deux exécutées par la Compagnie Continentale des Compteurs, rue Pétrelle, à Paris.

Dans ces deux installations, la matière est reprise des étendages et portée à l'aide de brouettes dans la fosse d'une noria. Celle-ci la remonte à la partie supérieure de l'atelier.

A Versailles, elle est ainsi amenée dans une trémie fixe d'où elle est reprise par des wagonnets qui sont mobiles dans un plan situé au niveau du bord supérieur des cuves, au-dessus desquelles lesdits wagonnets peuvent être basculés.

A Bacalan, la matière montée par la noria tombe dans des trémies supportées par le pont roulant des couvercles, et, de celles-ci, tombe directement dans les cuves.

Plus encore que la seconde, la troisième catégorie correspond à des installations toutes récentes ou en projet. Il n'en existe peut-être qu'une en France : celle de l'usine de Nanterre appartenant à l'Union des Gaz. Ici, les cuves étant disposées de telle sorte que leurs orifices de vidange placés à la partie inférieure soient sur un même alignement, la matière. dans l'opération de vidange, tombe dans des godets mus par une chaîne sans fin qui monte latéralement et passe en haut de l'étage supérieur. Un taquet, convenablement placé, permet de faire basculer les godets au-dessus de l'étendage convenable sur le plancher de ce second étage. Des orifices pratiqués dans celui-ci permettent le remplissage des cuves sans pelletage.

M. J. Payet montre, en outre, rentrant dans cette catégorie, trois projets étudiés pour des usines de l'étranger par une maison française : la Compagnie pour la Fabrication des compteurs et de matériels d'usines à gaz, de la rue Claude-Vellefaux.

Dans deux d'entre eux, les opérations de vidange et de remplissage se font à l'aide de bennes qui, supportées par un câble, mobile autour d'une poulie, placée à la partie supérieure du deuxième étage, dans un cas, ou commandée par une grue, dans l'autre, traversent le plancher de ce deuxième étage pour tomber dans la cuve dont la matière est à remplacer. La grue, dans celle des deux installations qui en est munie, facilite, en outre, l'étendage de la matière, jusque sur les points les plus éloignés de l'aire de revivification.

Le troisième projet prévoit la vidange des cuves, par la partie inférieure, dans des bennes roulant sur monorails. Celles-ci viennent se vider, dans la fosse d'une noria, qui porte la matière dans un autre groupe de bennes roulant également sur monorails, au-dessus des aires d'étendage. Le plancher du second étage présente des ouvertures, par où la matière tombe dans les cuves, à l'aide de coulottes appropriées lors des remplissages.

M. J. Payet dit que la disposition qui permet la vidange des cuves par simple chute de la matière, grâce à des orifices inférieurs, et leur remplissage également par simple chute, grâce à des étendages supérieurs, a le gros avantage de réduire au minimum la main-d'œuvre afférente à la manutention. Mais elle présente le danger de tenter trop l'ingéniosité des constructeurs qui sont susceptibles de proposer des installations compliquées et onéreuses à amortir.

M. J. Payet pense cependant qu'il est possible de profiter de l'avantage signalé, sans tomber dans le danger qui semble en être le corollaire. Il croit que la solution qu'il va exposer et qui lui est personnelle, est susceptible de répondre à ces desiderata. Cette solution a fait l'objet d'un projet qu'il a eu l'occasion d'imaginer et d'étudier dans ses détails, pour un atelier correspondant à une fabrication normale de 100 000 mètres cubes de gaz par jour.

Avant d'aborder son exposé, il croit devoir rappeler quelques considérations d'ordre général. Il fait remarquer que, dans un projet de salle

d'épuration, surtout pour de grandes usines, s'il est avantageux de concevoir des cuves de grandes dimensions, tant pour diminuer le coût de premier établissement, que pour réduire le prix de la main-d'œuvre, lors des renouvellements des matières dans les cuves, il ne faudrait pas exagérer dans ce sens de façon à ne pas provoquer des à-coup trop brusques et trop élevés, tant sur la pression du gaz, que sur la valeur épurante de l'ensemble de l'atelier lorsqu'on arrête le fonctionnement d'une cuve. Il y aura donc à faire une cote mal taillée et une étude très soignée de la question, suivant la valeur épurante moyenne de la matière employée, suivant la quantité maximum de gaz à fabriquer par vingt-quatre heures, et suivant le nombre probable des cuves à remanier par jour.

De plus, il y aura intérêt, dans la conduite technique de l'épuration, à adopter une méthode qui assure, en tout temps, à l'ensemble de la matière contenue dans toutes les cuves en service, une valeur moyenne à peu près constante.

M. J. Payet donne les grandes lignes d'une méthode qui correspond à ce desideratum, méthode qu'il a eu l'occasion d'appliquer avec succès dans une usine de la Compagnie Parisienne du Gaz, alors qu'il faisait partie de celle-ci.

Dans le cas d'une installation avec étendages supérieurs, cette méthode, qui suppose le fonctionnement de la matière en lots individuels correspondant à la contenance d'une cuve, permettrait, en outre, de porter, à chaque vidange, le lot de matière d'une cuve quelconque à l'étendage situé directement au-dessus de la cuve dans laquelle ce lot devra entrer ultérieurement. Celle-ci pourra donc être remplie, par simple chute directe de la matière, à travers le plancher supérieur.

La solution proposée par M. J. Payet consiste en une série de bennes se remplissant sous les cuves et susceptibles, en descendant un réseau de monorails en pente douce, de venir, une fois remplies, s'engager dans un ascenseur qui les porte à la partie supérieure de l'atelier d'où elles s'engagent sur un second réseau de monorails également en pente douce, mais en sens inverse de celle du réseau situé au rez-de-chaussée. Un deuxième ascenseur ramène, quand il y a lieu, les bennes de l'étage supérieur au rez-de-chaussée.

L'entrée des bennes dans les deux ascenseurs, la mise en route de ceux-ci, leur arrêt et le départ des bennes, ont lieu automatiquement. Ces deux appareils ont été étudiés dans ce sens par la Maison Samain et Cie, ingénieurs constructeurs d'ascenseurs bien connus, lesquels, en outre, ont prévu, grâce à un système de véritables enclanchements, tous les organes de sécurité nécessaires pour assurer le fonctionnement automatique et éviter toute crainte de fausse manœuvre.

M. J. Payet donne les caractéristiques de ces ascenseurs; il croit inutile d'entrer dans le détail de ceux-ci ; mais il annexe à sa communication une note à leur sujet. Il ajoute que ces deux appareils ont été prévus avec des moteurs électriques, parce que l'usine pour laquelle le projet avait été étudié se trouvait posséder une station centrale; mais ils peuvent très bien être conçus à la manière de monte-charges avec contrepoids hydraulique tout en restant à fonctionnement automatique.

Dans ces conditions, comme toute usine à gaz, si petite soit-elle, possède toujours des pompes à eau et des réservoirs placés à bonne hauteur au-dessus du niveau du sol, il croit que la solution qu'il a l'honneur de proposer, à raison même des moyens simples mis en œuvre, pourra s'appliquer utilement non seulement aux très grands ateliers, mais aussi aux installations de moyenne et faible importance.

M. le Président remercie M. J. Payet de sa communication très intéressante. Il félicite M. J. Payet, qui est un spécialiste gazier particulièrement compétent, et lui fait compliment de son dispositif qu'il serait heureux de voir appliquer avec succès.

Il est donné lecture, en première présentation, des demandes d'admission de :

MM. H. Albinet, F. de Castro, A. Delalande, S. Gerster, A. Prat, L. Prugnaud, L. Schlüssel, A. Steger comme Membres Sociétaires Titulaires, et de

M. E. Fleury comme Membre Sociétaire Assistant.

MM. R.-L. Humphrey, J. Hanscotte, P. Perdreau, P. Sauvage, Ch. Schertzmann, F. Turquais, sont reçus comme Membres Sociétaires Titulaires, et

MM. R. Baillot, B. Hoppenot et L. Poron comme Membres Sociétaires Assistants.

La Séance est levée à 11 heures un quart.

L'un des Secrétaires techniques :
J. Deschamps.

PROCÈS-VERBAL

DE LA

SÉANCE DU 18 OCTOBRE 1907

PRÉSIDENCE DE M. E. CORNUAULT, PRÉSIDENT.

La séance est ouverte à huit heures trois quarts.

Le Procès-verbal de la précédente séance est adopté.

M. LE PRÉSIDENT fait connaître que, par suite d'une maladie survenue au dernier moment, M. Delafond ne peut, ce soir, traiter devant la Société la question de l'*Extraction mécanique du caoutchouc.*

En son lieu et place, M. Barbet a bien voulu accepter, au pied levé, de traiter devant la Société la question de *l'Alcool moteur au prochain Congrès du Salon de l'Automobile*, et de même M. P. Postel-Vinay de donner quelques explications sur *les Pivots des turbines à vapeur à axe vertical*, turbines qui ont été examinées dans le récent voyage des membres de la Société.

M. le Président remercie vivement ces Messieurs.

M. LE PRÉSIDENT a le regret d'annoncer à la Société le décès de :

M. Michel Ghercévanoff, Membre d'Honneur de la Société depuis 1890, Ingénieur des voies de communication, Conseiller privé de S. M. l'Empereur de Russie, Membre du Conseil du Ministère et du Comité des voies navigables au Ministère des voies de communication, Président du Comité d'organisation du 11e congrès international de navigation en 1908 à Saint-Pétersbourg, Membre honoraire de la Société impériale russe polytechnique, Curateur honoraire de l'Institut des Ingénieurs des voies de communication, Commandeur de la Légion d'Honneur.

Une notice nécrologique sera insérée au Bulletin de la Société.

M. le Président adresse à la famille de ce regretté et honoré Collègue, l'expression des sentiments de douloureuse sympathie de la Société tout entière.

M. LE PRÉSIDENT est heureux d'annoncer que M. W. Bourgain a été promu au grade de Grand Officier de l'Ordre impérial de l'Osmanié et que M. N. Belelubsky, Membre d'Honneur, a été nommé Docteur-Ingénieur honoraire de l'École supérieure de Charlottenbourg.

Il leur adresse les félicitations de la Société.

M. LE PRÉSIDENT dépose sur le Bureau la liste des ouvrages reçus depuis la dernière séance. Cette liste sera insérée dans l'un des plus prochains Bulletins.

M. LE PRÉSIDENT fait connaître que notre nouveau Collègue, M. Prugnaud, a fait don à la Société d'une somme de 10 f. Il l'en remercie au nom de la Société.

M. le Président dit qu'une erreur matérielle s'est glissée dans l'impression du Procès-verbal de la séance du 1er mars dernier, dans laquelle a eu lieu la discussion sur l'Électrosidérurgie.

A la page 402 du Bulletin de mars 1907, dans la partie se rapportant à M. Saconney, à la ligne 30 il y a :

« Les chiffres relevés sur les livres de l'usine de Remscheid indiquent » des teneurs en S et Ph dépassant rarement *0,10 0/0* ».

Il faut lire :

« Les chiffres relevés sur les livres de l'usine Remscheid indiquent » des teneurs en S et Ph dépassant rarement **0,010 0/0** ».

Dans la communication de M. Dibos, relative au renflouage des sous-marins, Bulletin de juillet 1907, il y a lieu également de rectifier les erreurs d'impression suivantes :

Page 20, 4e ligne : lire « la » gite et non pas « le ».
Page 28, 8e ligne : lire « s'empressant ».
Page 32, 34e ligne : lire « levage » et non « lavage ».

M. le Président fait connaître que, sur la demande de plusieurs de nos Collègues, une discussion s'ouvrira ultérieurement sur la communication de M. Vincey sur l'assainissement de la Seine par les champs d'épandage et les lits bactériens artificiels.

M. le Président pense que cette discussion pourra plus utilement venir lorsque le mémoire de M. Vincey aura paru, ce qui permettra à chacun d'en prendre connaissance plus complètement.

L'ordre du jour appelle le *Compte rendu de la visite des Membres de la Société aux usines hydroélectriques du Littoral méditerranéen :*

M. Cornuault, Président, expose qu'en faisant lui-même, dès le retour, un compte rendu très sommaire, — précédent le compte rendu détaillé qui sera inséré dans le Bulletin avec tous documents annexes. — il poursuit deux buts :

Le premier est de mettre les Membres de la Société qui n'ont pu prendre part au voyage au courant de ce qui s'y est passé;

Le second, de remercier, sans plus tarder, les nombreuses Sociétés et personnes qui nous ont prêté leur dévoué concours, accueilli et reçu nos Membres, en un mot, permis de réaliser le voyage projeté dans des conditions tout exceptionnelles.

M. le Président rappelle que l'idée de visite de la Société aux pays de houille blanche était venue, naturellement, après celle faite aux pays de houille noire (Nord et Pas-de-Calais), il y a trois ans, sous la présidence d'un de ses distingués prédécesseurs, M. Couriot; mais, ce n'est qu'après la communication de M. de Marchena faite en juin dernier, en présence de M. le Président de la République, et décrivant spécialement les nouvelles installations hydroélectriques du Littoral méditerranéen. que l'idée lancée prit corps, et que le voyage fut résolu, malgré les difficultés d'organisation de visites collectives nombreuses, à plus de 1 000 km de Paris, dans des sites qui ne sont pas toujours facilement accessibles.

Une première circulaire fut lancée en juin, et, en présence de la fa-

veur avec laquelle elle était accueillie, une seconde circulaire, du 5 juillet, réglait un programme provisoire, et fixait les dates, 7-13 octobre, du voyage.

Plus tard, en septembre, un programme avec horaire précis, était adressé à tous les adhérents, et, enfin, chacun d'eux, à l'arrivée dans la région de Nice d'abord, de Marseille ensuite, recevait un programme détaillé des visites et réceptions.

C'est dans ces conditions que, le 7 octobre, à 7 h. 30 m. du soir, les Membres de la Société adhérents, auxquels s'était joint un groupe de la Société Internationale des Électriciens spécialement invité, montaient dans un train spécial mis à leur disposition par la Compagnie des Chemins de fer de P.-L.-M., train qui ne devait pas les quitter pendant tout le voyage. Ce train spécial, qu'accompagnait M. Ruelle, Inspecteur des Chemins de fer de P.-L.-M. et Membre de la Société, suivait exceptionnellement l'horaire d'hiver, et arrivait à Nice, point de concentration, à 10 heures et demie du matin.

A l'arrivée du train, sur le quai de la gare, M. Isnard, adjoint de la ville de Nice, délégué par M. le Maire, recevait les Ingénieurs, accompagné de M. Durandy, Administrateur Délégué de la Compagnie du Gaz et de l'Électricité de Nice, et de M. Vérany, Membre de la Société, en résidence à Nice; ces dernières personnes ont donné leur plus dévoué concours pour l'organisation des visites, etc., et nous ne saurions trop les remercier.

M. Isnard, Ingénieur de l'École Centrale, n'était pas Membre de notre Société, il l'est aujourd'hui. *(Applaudissements.) (Projections de clichés montrant l'arrivée à Nice.)*

Après l'installation dans les hôtels, conférence générale de M. Cordier, Administrateur-délégué de la Société de l'Énergie du Littoral Méditerranéen, dans la salle de la mairie de Nice, mise gracieusement à notre disposition par le Maire, en présence de M. de Joly, Préfet des Alpes-Maritimes, du Premier Adjoint. M. Isnard, de plusieurs Membres du Conseil Municipal et de notabilités niçoises; M. Cordier a charmé ses auditeurs par une conférence captivante, dont nous aurons un résumé important dans notre bulletin.

M. le Président *(projection d'une carte générale)* montre la région parcourue, décrite par M. Cordier, depuis la frontière italienne jusqu'au Rhône, avec les rivières utilisées : Var, Loup, Siagne, Argens, Durance; l'emplacement des usines hydroélectriques, à vapeur, etc.

A la sortie de la conférence, des trains-tramways spéciaux mis gracieusement à notre disposition par la Société des Tramways de Nice et du Littoral, amenaient les Membres de la Société, d'abord à l'Usine Électrique des Tramways, puis à celle du Risso de la Compagnie du Gaz et de l'Électricité de Nice; cette dernière *(projection)* usine à vapeur, usine de pointes et de secours, comprend des turbo-alternateurs type Curtis à axe vertical, qui ont été installés les premiers en France.

La première journée se termine par une invitation de la Municipalité de Nice à un champagne d'honneur, où les compliments les plus agréables sont échangés.

La deuxième journée (mercredi 9 octobre) comportait la visite des usines hydroélectriques de la vallée du Var et, dès 7 heures du matin, un train spécial de la Compagnie des Chemins de fer du Sud de la France (qui a tenu à rivaliser d'amabilité avec sa grande sœur la Compagnie P.-L. M.) amenait les Membres de la Société à l'Usine du Plan du Var *(projections)*, puis à l'usine de la Mescla *(projections)*, et enfin à la prise d'eau de l'Usine de la Mescla, près le confluent de la Tinée, dans des sites pittoresques et de toute beauté. Retour à Nice dans l'après-midi et départ en deux trains-tramways spéciaux, toujours mis gracieusement à notre disposition par la Société des Tramways de Nice et du Littoral, pour la Principauté de Monaco, en suivant l'admirable route de la Corniche ; à l'arrivée, réception par M. Martiny, ancien Élève de l'Ecole des Ponts et Chaussées, Ingénieur du Service technique de la Société des Bains de Mer, nouveau Membre de notre Société, par M. Vérany, Ingénieur de l'École Centrale, et visite de l'usine d'électricité de la Société Monégasque, de l'usine d'incinération des balayures, des éjecteurs mécaniques rejetant au loin en mer les eaux d'égout, etc. Enfin, le soir, banquet auquel les Membres de la Société étaient conviés par les Ingénieurs du Service technique de la Société des Bains de Mer, dont nous ne saurions trop louer l'empressement et l'amabilité.

Retour à Nice, le soir, après une journée bien remplie.

La troisième journée (jeudi 10 octobre) allait faire voir aux Membres de la Société une usine de haute chute (250 m), celle de la vallée du Loup.

Départ de Nice le matin, par train spécial de la Compagnie des Chemins de fer du Sud de la France ; bifurcation à Colomar *(projection)* et passage de la vallée du Var dans la vallée du Loup par un admirable trajet *(projections)* ; visite de l'usine du Loup, visite des réservoirs supérieurs *(série de projections)*. Enfin, banquet offert sous la tente par la Société de l'Énergie du Littoral Méditerranéen et présidé par M. Postel-Vinay, Vice-Président de cette Société, entouré des Maires de Grasse et de Bar-sur-Loup.

M. le Président dit qu'il a été heureux, en remerciant M. Postel-Vinay, de lui dire qu'il voyait en lui non seulement le représentant de la Société invitante, mais aussi le constructeur dont le nom était sur toutes les machines électriques visitées, machines qui avaient fait leurs preuves.

Après le Banquet, continuation du trajet en chemin de fer, arrivée à Grasse où la Compagnie de P.-L.-M. avait eu l'amabilité de faire monter le train spécial garé à Nice, qui nous avait amenés de Paris, et qui ne devait plus nous quitter jusqu'au retour.

A l'arrivée à Cannes, réception à la gare par le Maire de Cannes, M. Capron, qui ne veut point laisser les Membres de la Société se rendre aux Usines électriques avant de leur avoir fait les honneurs de la rade de Cannes, et les emmène sur deux bateaux préparés, jusqu'aux Iles Sainte-Marguerite et Saint-Honorat ; retour à Cannes, réception par M. le Maire et Mme Capron dans la splendide Villa Madrid ; échange de compliments et de remerciements bien vifs de notre part ; visite des Usines électriques des Tramways et de la Compagnie d'Éclairage, puis reprise du train spécial P.-L.-M., qui entre en gare de Marseille à 11 heures du soir.

La *quatrième journée* était consacrée à Marseille et ses environs: dans la matinée, les membres de la Société se divisent en plusieurs groupes: l'un d'eux visite l'usine électrique de la Société du Gaz et de l'Électricité de Marseille, puis tous se retrouvent dans l'après-midi pour se rendre en tramways spéciaux, mis gracieusement à leur disposition par la Compagnie Générale Française des Tramways, au poste de transformation d'Allauch, qui devient la clef électrique de Marseille et transforme à 13 500 volts le courant à très haute tension (30 000 et 50 000 volts) qui lui arrive du réseau des Alpes-Maritimes, et va lui arriver de la Durance par l'usine de la Brillanne; ce poste de transformation, unique en France, comprenant douze transformateurs de 1 000 kilowatts, attire spécialement l'attention des membres de la Société. *(Projections.)*

Retour d'Allauch à Marseille par Saint-Giniez et visite de la grande et belle usine (6 000 kilowatts) de la Compagnie des Tramways; le Directeur du réseau de Marseille, M. Dubs, en l'absence du Directeur Général, M. Pavie, fait faire la visite de l'usine *(projections)* et souhaite la bienvenue à un champagne d'honneur, dans un aimable toast auquel il est répondu par le Président.

Enfin, le soir, grand banquet offert à la Réserve, dans le merveilleux cadre de la Corniche, par la Société du Gaz et de l'Électricité de Marseille et présidé par M. Ador, Président de la Société, ayant à ses côtés M. le Préfet des Bouches-du-Rhône, M. le Maire de Marseille et les principales notabilités industrielles marseillaises. De nombreux discours sont prononcés au dessert.

Cinquième et dernière journée. — Départ en train spécial pour la nouvelle usine de la Brillanne-sur-Durance, usine de basse chute (15 000 ch) qui a comporté d'énormes travaux et doit constituer une usine d'une importance exceptionnelle lorsqu'elle sera renforcée par la Haute Durance (Ventavon) et le Verdon. A l'arrivée, visite de la prise d'eau en Durance, ouvrage de garde, travaux d'art, etc. *(projections)*; inauguration de l'usine (deux turbo-alternateurs sur cinq, mis en marche); déjeuner offert, dans la salle des transformateurs, par les deux constructeurs de l'usine : la Société des Grands travaux de Marseille et la Société Thomson-Houston, et présidé par les deux Présidents des Sociétés citées, M. Féraud et M. Guillain. *(Projections.)*

Enfin, la visite de l'usine complètement terminée, les Membres de la Société regagnent le train spécial qui les arrête à Avignon, où la Société du Sud Électrique, qui exploite à l'ouest du Rhône (Vaucluse, Gard, Hérault) le prolongement du vaste réseau de la Société de l'Énergie, a tenu à les recevoir à diner dans leur dernier arrêt.

C'est M. Cordier qui préside et cette fois comme Président de la Société du Sud Électrique. Les derniers compliments sont échangés. M. Raty adresse au Président les remerciements des Membres de la Société et M. P. Janet se fait spécialement l'interprète des sentiments du groupe des Membres de la Société Internationale des Électriciens ayant pris part au voyage.

Le train spécial part pour Paris et le dimanche 13 octobre, conduit par M. Ruelle, arrive à l'heure exacte de l'horaire fixé, 8 h. 25 m. à la gare P.-L.-M.

En terminant, M. le Président dit qu'il espère avoir fait œuvre utile pour la Société des Ingénieurs Civils, en lui faisant réaliser ce voyage d'études; l'ampleur des réceptions faites, la présence des autorités locales, l'importance des facilités données de toutes parts, témoignent assez combien est hautement appréciée la Société des Ingénieurs Civils de France partout où elle porte ses pas. *(Vifs applaudissements.)*

Enfin, désireux de n'oublier personne, M. le Président tient à remercier les Membres de la Société, photographes amateurs, qui lui ont envoyé leurs nombreux clichés, aussi M. Massiot, photographe, qui a accompli le tour de force de faire, dans un délai si court, les reproductions ayant permis d'illustrer le Compte rendu, et encore M. de Dax et les deux employés qui, avec un zèle infatigable, ont accompagné les Membres de la Société pendant toute la durée du voyage. *(Applaudissements.)*

M. L. Masson, Président de la 3e section du Comité, prononce les paroles suivantes :

« M. le Président.

« Le compte rendu si attachant que nous venons d'entendre et » d'applaudir nous a fait revivre le récent voyage de visite de notre » Société aux usines hydro-électriques de la région du Littoral méditer- » ranéen, et cet auditoire connait maintenant, grâce à vous, les attentions » dont nous avons été l'objet en ce beau pays, les réceptions magni- » fiques qui nous y ont été faites, et le haut intérêt des installations » qu'il nous a été donné d'y examiner.

» Mais il est un point sur lequel ne sauraient trop insister ceux qui » ont eu comme moi l'honneur et la bonne fortune de vous accompagner » dans cette excursion, Monsieur le Président : je veux parler de la » reconnaissance que vous porte chacun de nous pour l'organisation » admirablement réussie d'un voyage dont nous conserverons le plus » durable et le plus charmant souvenir.

» C'est là un sentiment chez nous très vif, dont notre Collègue du » Comité, M. Fernand Raty, et le savant directeur de l'École supérieure » d'électricité M. Paul Janet, se sont l'un et l'autre faits près de vous » les interprètes au nom et en présence des Congressistes au moment » de leur séparation, — et que, pour ma part, je tiens à vous témoigner » dans la salle même de nos séances, dès longtemps habituée à l'écho » des applaudissements qui vous sont destinés.

» Je suis d'ailleurs certain, mon cher Président, de répondre à la » pensée de tous en demandant ce soir à nos Collègues une nouvelle salve » de bravos à votre adresse, en signe de profond remerciment de la belle » semaine que vous avez bien voulu nous organiser, et c'est de tout » cœur, croyez-le bien, que je leur en fais en ces quelques mots la prière.

» Mes chers Collègues, salut et merci en votre nom comme au mien » à Monsieur le Président Emile Cornuault ! » *(Longs et vifs applaudissement.)*

M. le Président remercie infiniment M. Masson de ses paroles flatteuses et ses Collègues qui les ont approuvées si chaleureusement.

M. P. Postel-Vinay a la parole pour sa communication sur les *Pivots des turbines à vapeur à axe vertical.*

Le pivot des turbines à vapeur à axe vertical constituant l'un des points délicats de la construction de ces machines. M. Postel-Vinay montre comment ont été solutionnés les problèmes que soulevait cette disposition.

Dans les turbines qu'on a vues à Nice et à Marseille lors du récent voyage de la Société, le graissage des pivots est assuré par de l'eau sous pression dans les conditions suivantes :

La partie inférieure de l'arbre de la turbine porte deux trous de goujon et une rainure de clavette. Dans ces trous et cette rainure s'engagent des goujons et une clavette fixés dans une pièce en fonte de forme spéciale, qui constitue à proprement parler, le grain mobile de la crapaudine. Ce grain vient porter, par une surface annulaire, sur un grain également en fonte, fixé dans le bâti et dont tout mouvement de rotation est rendu impossible par des goujons vissés dans le bâti de la turbine. C'est dans l'espace laissé libre entre ces deux surfaces annulaires, qu'arrive l'eau de graissage sous pression. La pression de cette eau est variable suivant le type et la puissance des turbines, puisqu'elle doit être suffisante pour soulever légèrement la partie tournante de manière que la rotation se fasse sur une véritable nappe d'eau. Les pressions généralement admises sont les suivantes :

18 à 20 kg par centimètre carré pour les turbines de 1 500 ch;

25 à 30 kg par centimètre carré pour les turbines de 4 000 ch;

35 à 40 kg par centimètre carré pour les turbines de 6 500 ch et au-dessus.

Ces pressions, quoique inférieures à celles normalement adoptées pour les commandes hydrauliques de ponts tournants, presses à forger, etc., nécessitent, néanmoins, des tuyauteries particulièrement soignées et demandent des précautions spéciales.

Immédiatement au-dessus de la crapaudine proprement dite, se trouve un palier de guidage dont le coussinet est, soit en bois de gaïac, soit en métal antifriction, et dont le graissage est assuré par l'écoulement de l'eau sortant du pivot. A la sortie de ce palier, l'eau est renvoyée au condenseur où elle se mélange à l'eau de condensation.

Enfin M. Postel-Vinay signale qu'il est possible, au moyen d'une vis de fortes dimensions, de faire, dans de faibles limites, monter ou descendre l'arbre, pour permettre de régler les jeux entre les roues à aubes portées par l'arbre et les aubes distributrices ou les tuyères placées sur la carcasse de la machine.

La solution de graisser les pivots avec de l'eau était séduisante, le lubréfiant n'étant pas cher; elle permettait, en outre, de n'avoir à prévoir aucun dispositif de presse-étoupe spécial empêchant les rentrées d'air au condenseur puisque le pivot et le palier de guidage contenus dans l'espace même de la turbine en communication avec le condenseur formaient un joint hydraulique parfaitement étanche à l'air. Enfin, on n'avait à craindre aucune introduction d'huile dans la vapeur et l'eau

condensée pouvait être renvoyée aux chaudières sans aucune épuration préalable. Mais elle avait aussi les inconvénients suivants :

Il était nécessaire, pour éviter tout grippement, d'employer de l'eau absolument pure et dépourvue de tout corps étranger; il fallait donc soit avoir recours à des filtres à grand débit, soit prendre soin de n'alimenter les pivots qu'avec de l'eau distillée provenant de la condensation.

D'autre part, comme les paliers supérieurs étaient graissés à l'huile, il était nécessaire d'avoir un système de pompes à eau pour l'alimentation du pivot et un système de pompes à huile à basse pression pour les

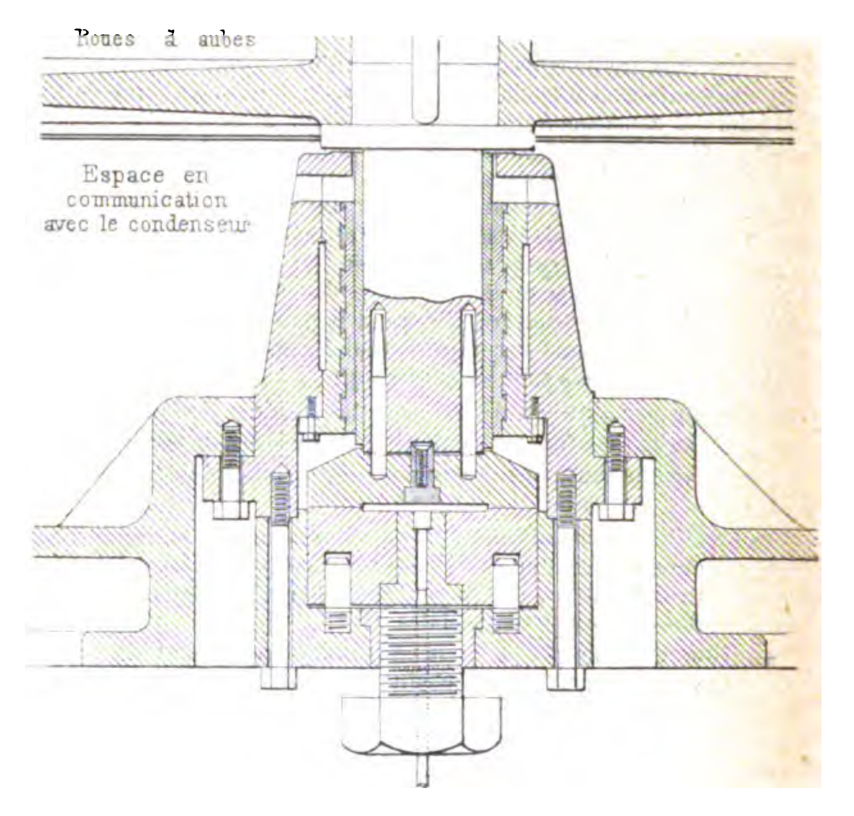


Fig. A. — Pivot d'une turbine de 1 600 HP, graissage à l'eau.

paliers supérieurs; cela entrainait l'établissement d'une double tuyauterie de graissage.

Il a donc été reconnu préférable de réduire le nombre des pompes de graissage et de simplifier les tuyauteries en adoptant le graissage à l'huile des pivots.

La construction des pivots à huile est, d'ailleurs, presque identique à celle des pivots à eau. On y retrouve, en effet, les deux grains à surface portante annulaire et le palier de guidage immédiatement supérieur garni, dans ce cas, toujours en métal antifriction.

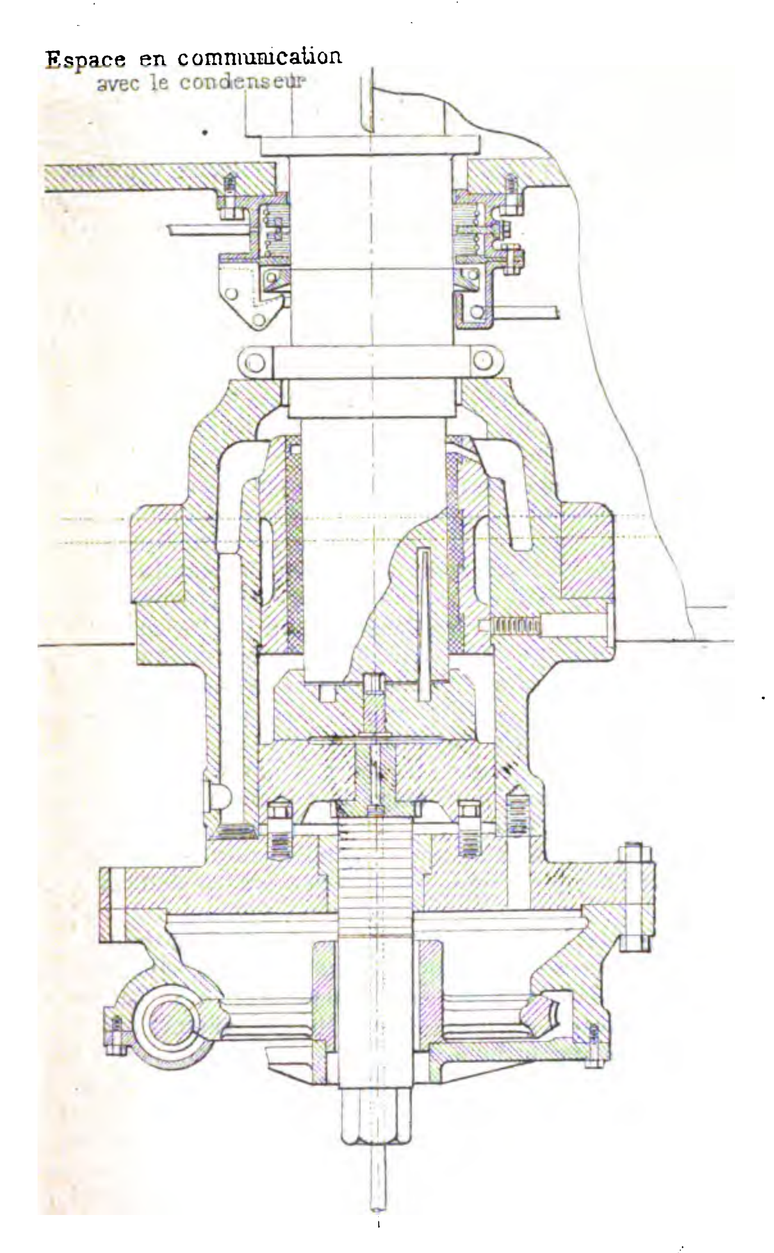


Fig. B. — Pivot d'une turbine de 4 000 HP, graissage à l'huile.

Il y a lieu de remarquer que, pour profiter quand même du gros avantage d'avoir de la vapeur condensée dépourvue de toute trace d'huile on a été amené à isoler complètement l'ensemble du pivot de la chambre de la turbine en communication avec le condenseur.

D'autre part, il a été nécessaire, pour empêcher des rentrées d'air au condenseur, de prévoir, au point où l'arbre traverse la carcasse de la turbine, un joint étanche. Dans l'espèce, ce joint est constitué par deux bagues en graphite, ne nécessitant pas de graissage et frottant contre l'arbre. Pour assurer, en outre, une étanchéité plus parfaite et éviter toute rentrée d'air au condenseur, on envoie un jet de vapeur dans cette sorte de presse-étoupe. Un déflecteur et une cuvette avec tuyau de vidange empêchent que la faible quantité de cette vapeur qui se condense ne glisse le long de l'arbre et, par suite, se mélange à l'huile de graissage du palier de guidage supérieur.

Les pressions adoptées pour le graissage à l'huile sont les mêmes que celles adoptées pour le graissage à l'eau, et les précautions à prendre sont également les mêmes.

D'une manière générale, on installe toujours deux pompes suffisantes pour assurer chacune le graissage du nombre total d'unités constituant l'usine, l'une de ces pompes devant servir de secours en cas d'avarie à celle en service. Le tuyau collecteur de refoulement de ces pompes est souvent double et dans ce cas, la tuyauterie est prévue de manière que chaque pompe puisse débiter dans l'un ou l'autre collecteur, ceux-ci étant également reliés l'un et l'autre au pivot de chaque turbine. Enfin, un accumulateur d'eau ou d'huile sous pression est également prévu, branché sur le collecteur de refoulement des pompes de graissage, pour assurer le service en cas d'accident, pendant le temps nécessaire à la mise en fonctionnement de la pompe de secours.

Pour parer au cas où une pompe de graissage viendrait à s'arrêter, par suite de la rupture d'un fusible du moteur de commande, par exemple, les accumulateurs sont généralement munis d'un avertisseur sonore prévenant le personnel du moment où ils commencent à fonctionner.

Les turbines à axe vertical ayant été l'objet de critiques ayant trait au pivot, M. Postel-Vinay tient à signaler que, même au cas où le graissage viendrait à manquer complètement, il ne paraît pas devoir en résulter d'avarie grave. Le fait a été expérimenté à titre d'essai en Amérique, sur une turbine de 5 000 kilowatts tournant à 500 tours et dont le poids des masses en mouvement était d'environ 33 t. Alors que cette machine était en pleine vitesse, on a arrêté l'arrivée d'huile au pivot et coupé la vapeur; après stoppage de la turbine (qui s'est produit en quelques minutes au lieu de 50 minutes, temps normal) la crapaudine a été démontée et les grains ont été vérifiés. Ils ne portaient que quelques traces de grippement insignifiantes et ont été remontés *tels quels* sans aucune rectification.

M. Postel-Vinay a eu l'occasion, il y a un an, de vérifier lui-même ce fait, lors de la mise en route d'une unité de 1 500 ch. Par deux fois, accidentellement, le graissage a manqué au pivot, alors que la turbine tournait à 1 500 tours. On a immédiatement coupé la vapeur, l'arrêt s'est

également produit en quelques minutes et les deux fois, après vérification des faces portantes, les grains ont été remis en place sans avoir subi aucune réparation. Or, depuis un an, cette turbine assure un service public régulier sans qu'il y ait eu aucun inconvénient du fait du pivot.

M. Postel-Vinay ajoute que, dans le cas du graissage par huile, c'est la même huile qui ressert presque indéfiniment et qu'il suffit de compenser les seules pertes qui peuvent se produire par fuites dans les tuyauteries. Cela suffit à prouver qu'il n'y a pas usure des surfaces en contact.

Ces quelques considérations tendent à établir que le pivot en question n'est pas un organe aussi délicat qu'on pourrait le croire.

M. le Président remercie M. P. Postel-Vinay de ses intéressantes explications sur un point qui avait attiré l'attention des membres de la Société dans leur récente visite.

M. E. Barbet, Président de la 5e Section, a la parole pour sa communication sur *l'Alcool moteur à propos du prochain Congrès de l'Alcool au Salon de l'Automobile.*

La question de l'alcool moteur s'est posée déjà depuis plusieurs années, notamment dans le circuit du Nord, le circuit des Ardennes, la course Paris-Vienne, etc. Le Salon de l'Automobile a donné asile, en 1903, à un premier Congrès de l'Alcool. Ces diverses tentatives en faveur de l'alcool dénaturé comme carburant ont été exposées devant la Société des Ingénieurs civils, notamment par M. Lucien Périssé.

Plus récemment M. Taupiat de Saint-Symeux a fait à notre Société une communication sur les autobus de Paris, qui emploient un mélange d'alcool et de benzine. L'alcool entre définitivement en scène, et, si dans les débuts il a rencontré beaucoup d'oppositions, aujourd'hui son heure est venue.

Bien plus, l'essence de pétrole, cessant toute lutte contre lui, le convie à une collaboration reconnue nécessaire. La raison en est bien simple : l'automobilisme consomme journellement 500 000 litres d'essence, et l'industrie du pétrole n'est plus en mesure de les fournir. Tous les stocks sont épuisés. L'essence, qui autrefois ne comprenait que des produits légers (densité moyenne 680), est montée graduellement à 700 puis à 720, par incorporation de produits moins volatils, et, comme conséquence les moteurs ne développent plus la puissance en chevaux pour laquelle ils ont été établis et vendus. Il y a une crise du carburant. C'est l'alcool dénaturé et benziné qui doit permettre de la conjurer, car on peut obtenir de lui un service régulier. Il est reconnu — par les expériences spéciales de 1902, de M. E. Sorel, et par la pratique actuelle des autobus — qu'il n'y a pas érosion des soupapes ni des cylindres.

En 1903, M. Barbet avait présenté un vœu demandant que l'alcool dénaturé fût employé dans les grandes villes. Son vœu se basait sur ce que l'alcool, en brûlant, ne donne presque pas d'odeur. Il y a même, dans les gaz de la combustion, des produits très sains, notamment des petites quantités de formol dont les propriétés désinfectantes sont connues.

On objectera qu'avec les autobus cette thèse paraît controuvée ; trop souvent, en effet, les gaz de combustion sont bleutés et donnent une odeur nauséabonde de caoutchouc brulé. Mais cette odeur provient des impuretés de la benzine et non de l'alcool. Il faudrait exiger que la benzine fût désulfurée, pour la même raison d'hygiène qui a imposé la désulfuration du gaz d'éclairage ou des pétroles.

L'alcool étant un hydrocarboné, et non un hydrocarbure, contient moins d'énergie d'explosion que l'essence de pétrole ; mais il rachète en grande partie cette infériorité par sa détente. Son explosion est moins brutale. Son rendement dynamique atteint jusqu'à 30 et 31 0/0 si l'on pratique une forte compression avant l'allumage, et si l'on donne au piston un peu plus de course que de diamètre. Le problème qui se pose aux ingénieurs, c'est de déterminer pour les moteurs et carburateurs des proportions telles que les automobiles puissent à volonté — et chaque fois dans de bonnes conditions — marcher à l'alcool dans les villes et à l'essence dans les campagnes.

Cette délimitation des sphères d'emploi n'est pas arbitraire, et elle ne repose pas seulement sur la question d'odeur, qui n'est pourtant pas indifférente au public. Il y a deux autres motifs à invoquer :

1° Dans les villes il y a des droits élevés sur l'essence; il n'y en a pas sur l'alcool dénaturé, il y en a peu sur la benzine. C'est pour cela que la Compagnie des Omnibus a donné la préférence à l'alcool.

2° Dans toutes les villes, dans tous les villages même, on peut en cours de route se réapprovisionner d'essence, tandis qu'il n'y a pas encore d'organisation semblable pour l'alcool.

Le Congrès qui va s'ouvrir aura d'autres problèmes à résoudre que le problème mécanique, puisque celui-ci est à peu près au point. Ce sera avant tout le problème économique.

L'alcool est sujet à de grandes variations de prix ; c'est un obstacle très réel à la généralisation de son emploi.

Les Allemands ont résolu le problème par un Cartel. Une Société très puissante, la *Centrale für Spiritus verwertung*, centralise tout le commerce de l'alcool, brut, dénaturé ou raffiné, dans tout l'Empire. Elle vend l'alcool dénaturé à un prix quasi invariable et par marchés de trois ans au même taux, et ce prix est bien au-dessous du prix de revient. Elle fait compensation en vendant l'alcool de consommation de bouche à un prix sensiblement supérieur au prix de revient.

Les Cartels de ce genre sont interdits par la loi française, mais le but à atteindre est si correct et d'une telle utilité publique que le Congrès s'efforcera d'obtenir une exception de la part des pouvoirs publics. Aussi bien cette exception existe-t-elle déjà à un certain degré. Elle a été créée par la loi du 25 février 1901, qui, sous prétexte de remboursement des frais de dénaturation imposés à l'alcool par les règlements, a décidé qu'une somme de 9 f à l'hectolitre serait allouée aux alcools à dénaturer. Et, pour que ce soit l'alcool qui paie cette faveur accordée à une partie de son propre débouché, la loi stipule que, chaque année, l'alcool de consommation générale doit payer une taxe de fabrication, établie de manière à balancer exactement l'allocation des 9 f. C'est l'Administration elle-même qui tient les comptes de ce Cartel légal. Il procède exacte-

ment des mêmes principes que le Cartel allemand, et emploie les mêmes moyens financiers pour équilibrer les faveurs accordées à l'alcool dénaturé.

L'on va demander au Gouvernement de changer le taux de l'allocation, et par conséquent de la taxe compensatrice, autrement dit d'hyperboliser dans une certaine mesure ce qui existe actuellement.

Allant un peu plus loin, M. Barbet démontre que, la taxe compensatrice étant essentiellement variable d'une année à l'autre, puisqu'elle dépend de la consommation en alcool dénaturé, rien n'empêche de faire intervenir dans sa détermination un second coefficient dépendant des cours de l'alcool. On pourra ainsi donner à l'alcool dénaturé, par le jeu de l'allocation légale, un cours à très peu près fixe.

Que ce soit dans ce sens ou bien dans un autre, il faudra bien qu'une solution intervienne, car il ne peut pas être dit que l'automobilisme soit enrayé faute d'un carburant en quantité correspondant aux besoins.

Les pouvoirs publics, en principe, doivent être favorables à l'alcool dénaturé plutôt qu'à l'essence, car celle-ci est un tribut payé à l'étranger, tandis que l'alcool est un produit de l'agriculture nationale.

On peut encore ajouter que les sources du pétrole s'épuiseront assez vite à l'allure actuelle de la consommation, tandis que l'alcool est formé chaque année par les rayons du soleil; c'est donc le carburant de l'avenir puisque ses sources sont indéfiniment renouvelables. Quant à la benzine, qui apporte à l'alcool un précieux appoint de carbone, elle aussi prend sa source dans le sol français, car elle provient de la distillation de nos charbons de terre.

M. le Président remercie M. Barbet d'avoir bien voulu faire cette communication. Elle présente un intérêt tout particulier à la veille de l'Exposition qui s'ouvrira prochainement et à l'occasion de laquelle se tiendra l'important congrès dont il vient d'être parlé.

Il est donné lecture, en première présentation, des demandes d'admission de MM. R.-J. Barbier, M. Bongiovanni, L. Brille, J. Davignon, P. Führmann, P. Gaillard, P. Jackson, G. Jourde, G. de Launay, E. Lefébure, Ch. Magne, L. Marquand, E. Marquet, A. Martiny, P. Robert, A. Salanson, L. de Savignac, G. Viénot, comme Membres Sociétaires Titulaires, de

M. M. Fricker comme Membre Sociétaire Assistant et de

M. L.-A. Deligne comme Membre Associé.

MM. H. Albinet, F. de Castro, A. Delalande, S. Gerster, A. Prat, L. Prugnaud, L. Schlüssel, et A. Stéger sont reçus comme Membres Sociétaires Titulaires et

M. E. Fleury comme Membre Sociétaire Assistant.

La séance est levée à onze heures.

L'un des Secrétaires techniques,
H. Dufresne.

NOTE

SUR LES CANALISATIONS D'AIR

SOUS PRESSIONS ÉLEVÉES

PAR

M. G. LEROUX

Le transport de l'énergie à distance au moyen de l'air sous pressions élevées, c'est-à-dire sous pressions supérieures à 30 kg, a été particulièrement utilisé pour la traction mécanique des tramways. Les canalisations affectées au transport de l'air doivent donc passer sur le domaine public et par conséquent être placées sous le sol. Il en résulte pour leur installation des difficultés sérieuses tant pour assurer leur durée et leur étanchéité, que pour en faciliter la visite et l'entretien.

La Compagnie Générale des Omnibus ayant adopté progressivement, de 1893 à 1900, la traction par l'air comprimé, système Mékarski, pour une grande partie de son réseau de tramways, eut à poser pendant cette période de très nombreuses canalisations d'air comprimé à des pressions atteignant 100 kg. Or ces canalisations sont encore en service et il est intéressant d'examiner aujourd'hui si les considérations techniques, qui ont servi de guides à ces installations, ont été consacrées par l'expérience et si les prévisions relatives à l'emploi de ce système de transport d'énergie ont été réalisées.

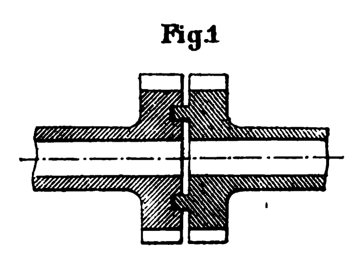
HISTORIQUE

La Compagnie Générale des Omnibus n'ayant pas été la première Compagnie de tramways montant des canalisations d'air comprimé, il lui a été possible d'après l'étude des installations déjà faites, d'apporter sur son propre réseau des modifications

et des dispositions nouvelles, de nature à rendre l'étanchéité de ces conduites pratiquement parfaite et la sécurité du service presque absolue.

A notre connaissance, la première canalisation d'air comprimé pour le chargement de tramways, loin de l'usine de compression, a été établie en 1891 par la Société des Chemins de fer Nogentais sous la direction de M. Mékarski pour réunir l'usine de la Maltournée au poste de chargement de Bry-sur-Marne.

Cette canalisation prévue pour une pression de 45 kg avait environ une longueur de 3 km. Les tuyaux étaient en fonte de 0,030 m de diamètre intérieur et de 0,010 m d'épaisseur. Les brides triangulaires *(fig. 1)* venues de fonderie portaient l'une une gorge, l'autre une saillie circulaire soigneusement tournées et formant joint à encastrement par interposition d'une rondelle soit en plomb, soit en cuivre. L'assemblage se faisait par boulons. Les tuyaux de dilatation étaient en cuivre rouge de 0,0025 m d'épaisseur et de 1 000 m de longueur entre joints.


Fig.1

Les tuyaux en fonte ont été bientôt abandonnés. Ils étaient trop fragiles et d'une étanchéité parfois douteuse. Leur pose présentait de grandes difficultés en raison de leur rigidité et leur longueur forcément très restreinte entraînait un nombre de joints exagéré.

On a donc employé par la suite des tuyaux en fer ou acier doux soudés à recouvrement et des tuyaux en acier doux étirés sans soudure pour les pièces spéciales telles que coudes, tuyaux de dilatation, etc.

En 1893, M. Mékarski monte à Nantes une canalisation de cette nature sur une longueur de 1 500 m entre l'usine de Doulon et les postes de chargement de la gare. La pression de l'air était de 30 kg. La conduite avait un diamètre intérieur de 0,040 m et 0,004 m d'épaisseur.

En 1893-1894, M. Mékarski fit établir pour la Compagnie Générale des Omnibus des canalisations d'air d'un type analogue.

Les tuyaux en acier doux soudés à recouvrement avaient 0,060 m de diamètre intérieur et 0,0075 m d'épaisseur. La pression prévue était de 80 kg.

Une de ces conduites de 80 m de longueur reliait l'usine de Puebla au poste de chargement des tramways Saint-Augustin-Cours de Vincennes installé place de la Villette. Cette conduite fut doublée en 1895.

Une autre conduite de 3 885 m de longueur assurait le service de la ligne Paris-Versailles en envoyant jusqu'à Sèvres l'air comprimé à l'usine de Boulogne.

Enfin, une troisième canalisation de 1875 m réunissait cette même usine aux postes de chargement placés près de la porte du Point-du-Jour. Cette canalisation fut également doublée en 1895.

Chaque tuyau de 6 m de longueur au plus portait à ses extrémités des collets vissés et soudés (*fig.* 2). L'un de ces collets

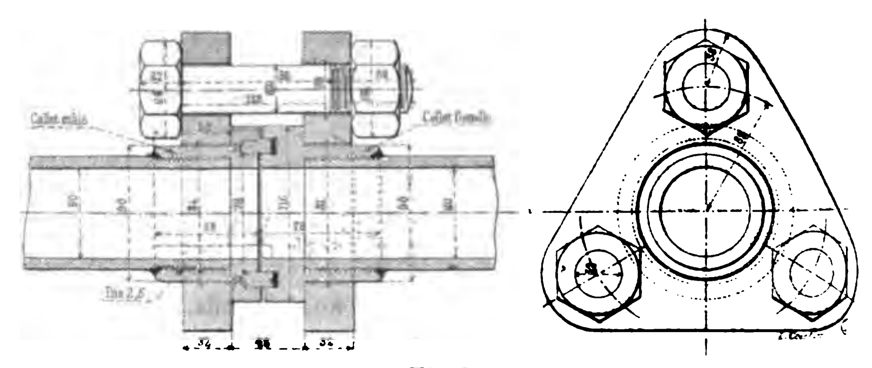


Fig. 2

avait une saillie, l'autre une gorge également tournées pour former joint à l'encastrement par interposition d'une rondelle en plomb.

Sur les canalisations primitives une grande partie des tuyaux avait des collets brasés. Ce mode de construction rendait difficile le remplacement d'une bride et d'un collet. Par la suite il n'a été conservé que pour les collets se fixant sur des pièces en fonte, tés, vannes, etc.

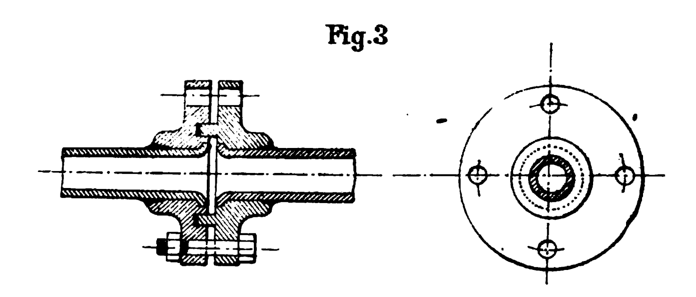
Des brides triangulaires à trois boulons, enfilées sur les tuyaux avant de visser les collets permettaient de serrer le joint. La mobilité de ces brides est indispensable pour faciliter le montage d'un tuyau et permettre son remplacement. Avec des brides fixes, les trous de l'une d'elles doivent être percés sur place, car la coïncidence des trous ne s'obtiendrait jamais aux deux extrémités d'un même tuyau.

L'emploi de trois boulons seulement et la forme triangulaire des brides rendent le serrage des écrous plus facile, car aucun d'eux ne peut se placer sous le tuyau c'est-à-dire dans une position impossible à atteindre.

A la même époque, soit en 1894, la Compagnie des Tramways Nogentais faisait établir entre l'usine de la Maltournée (Neuilly-sur-Marne) et Vincennes une canalisation de 4 km.

Par économie les brides mobiles furent abandonnées. Les tuyaux en fer étaient brasés sur leurs brides *(fig. 3)* au moyen d'un collet

Fig.3



rabattu. Les joints se faisaient par encastrement et les brides portaient quatre boulons.

Cette canalisation, qui était double pour assurer le service dans tous les cas avait 0,040 m de diamètre intérieur, avec une épaisseur de tuyaux de 0,003 m. La pression de l'air devait être de 50 kg. A tous les points bas de la canalisation, était établie une boîte de purge avec robinet d'évacuation. Cette adjonction est indispensable pour retirer l'eau entraînée par l'air, lorsque les compresseurs employés sont à refroidissement par injection d'eau.

Enfin, on avait intercalé sur cette canalisation à des intervalles de 10 m au départ de l'usine, mais croissant en s'éloignant de cette usine, des tuyaux en cuivre cintrés destinés à donner la flexibilité nécessaire en cas de dilatation au contact de l'air chaud venant des compresseurs.

Ces purgeurs et ces tuyaux de dilatation existaient également sur les canalisations primitives de la Compagnie Générale des Omnibus, mais ces tuyaux étaient en acier étiré sans soudure et non en cuivre.

En 1895, la Compagnie des Tramways de Vichy ayant également adopté le système Mékarski fit installer une canalisation de 800 m de longueur sous pression de 60 kg.

En 1896, M. Mékarski met en service les tramways d'Aix-les-Bains, où il fait également monter une canalisation simple de 1 600 m.

Les conduites sont en acier doux soudé à recouvrement. Les tuyaux de 0,050 m de diamètre intérieur ont 0,005 m d'épaisseur et 10 m de longueur sans soudure transversale.

La pression de marche est 60 kg, celle d'épreuve 90 kg. Les joints ne diffèrent de ceux de la Compagnie Générale des Omnibus que par leurs dimensions.

Les tuyaux de dilatation, également en acier soudé, ont seulement 0,003 m d'épaisseur et 1,250 m de longueur entre brides.

La même année M. Mékarski complète le réseau de la ville de Nantes, où il pose 2 500 m de canalisation de 0,050 m de diamètre et 2000 m de 0,060 m.

Ces canalisations sont en service depuis cette époque et donnent pleine satisfaction.

DÉTERMINATION DES DIMENSIONS DES CANALISATIONS D'AIR

L'étude des canalisations d'air comprimé fut reprise, en 1895, par le Service de la Traction mécanique de la Compagnie Générale des Omnibus, en vue de la transformation de son réseau de tramways pour l'Exposition universelle de 1900.

Diamètres des conduites.

Après un examen sommaire des poids d'air à fournir aux différents postes de chargement, il fut décidé, pour ne pas multiplier les modèles, de n'adopter que des conduites de quatre diamètres : 50, 60, 75, 100 mm. Au delà du diamètre de 100 mm et avec les longueurs de tuyaux que l'on espérait prendre, leur manœuvre fût devenue trop difficile.

Toutes les canalisations devaient être doublées, afin d'avoir toujours une conduite de secours et assurer ainsi le service dans tous les cas.

Le diamètre des conduites dans chaque section du réseau était déterminé pour ne pas dépasser en débit maximum, sur une

seule conduite, la vitesse d'écoulement d'air de 4,500 m par seconde.

Sur certaines sections à grand débit, il fut placé trois conduites, deux pour le service, la troisième en réserve.

Le développement des services a conduit par la suite à mettre en service toutes ces canalisations. Les fuites étant insignifiantes, l'emploi simultané de toutes les canalisations réduisait les pertes de charge sans présenter aucun inconvénient.

Cette vitesse maximum de 4,500 m pour l'air avait été fixée par comparaison avec les installations déjà faites et afin d'éviter des pertes de charge trop considérables.

Pertes de charge.

Des expériences précises manquaient pour permettre d'évaluer les pertes de charge dans les conduites d'air comprimé à 80 et 100 kg. Toutes les formules généralement adoptées pour calculer ces pertes de charge donnent des valeurs très exagérées, comme le montre nettement leur application à la canalisation reliant l'usine de Billancourt au dépôt de Montrouge.

Longueur de la canalisation . . . . . . $L =$ 7 052 m
Diamètre intérieur des conduites. . . . $D =$ 0,075 m
Pression absolue de l'air en kilogrammes par centimètre carré . . . . $P =$ 84
Poids du mètre cube d'air à cette presssion et à 20 degrés . . . . $\delta =$ 97,5 kg
Poids d'air fourni à l'heure . . . . . . $\varphi =$ 4 800 kg
— par seconde . . . . . $q =$ 1,333 kg
Volume d'air correspondant par seconde. $v =$ 0,0142 m³

Une conduite de 60 mm de diamètre, dont la section est 0,0028274 m² eût donné une vitesse d'air de

$$\frac{0,0142}{0,0028274} = 5 \text{ m.}$$

Avec une conduite de 75 mm de diamètre, soit 0,0044179 m² de section, cette vitesse n'est plus que

$$\frac{0,0142}{0,0044179} = 3,222 \text{ m.}$$

Les calculs de pertes de charge furent donc faits pour les trois vitesses :

$$u_1 = 3,222 \qquad u_1^2 = 10,4$$

$$u_2 = \frac{1}{2} u_1 = 1,611 \qquad u_2^2 = 2,6$$

$$u_3 = \frac{1}{3} u_1 = 1,074 \qquad u_3^2 = 1,15$$

1° Formule de Prony et Darcy, modifiée par Arson.

$$\frac{H}{l} = 4 \frac{\varepsilon}{1\,000\,D} (au + bu^2),$$

l longueur unitaire de la conduite $\quad l = 1\,000$ m

$a = 0,000635$

$b = 0,000532$

H perte de charge en mètres d'eau par unité de longueur.

On trouve en effectuant les calculs :

$$H_1 = 39,4 \qquad H_2 = 12,45 \qquad H_3 = 6,72$$

Pour obtenir les pertes de charge en kilogrammes, il faut diviser les valeurs de H par 10,33.

$$p_1 = 3,81 \qquad p_2 = 1,20 \qquad p_3 = 0,65$$

Les pertes de charge pour la conduite totale sont à multiplier par 7,052.

$$P_1 = 26,8 \qquad P_2 = 8,45 \qquad P_3 = 4,58$$

valeurs évidemment très exagérées.

2° Formule de Stockalper.

Cette formule a été établie après des essais faits au tunnel du Saint-Gothard sur des canalisations d'air à 6 atm, et à des températures variant de 21 degrés à 26° 5.

Les vitesses de l'air étaient comprises entre 4,75 et 11,32 m :

$$\frac{H}{l} = \frac{785}{10^{10}} \frac{\delta}{D} \left(5 + \frac{1}{D}\right) u^2.$$

Les lettres représentent les mêmes valeurs que dans la formule précédente. En effectuant les calculs, on trouve :

$H_1 = 19{,}45$	$H_2 = 4{,}86$	$H_3 = 2{,}15$
$p_1 = 1{,}88$	$p_2 = 0{,}47$	$p_3 = 0{,}208$
$P_1 = 13{,}3$	$P_2 = 3{,}3$	$P_3 = 1{,}47$

Ces chiffres paraissent encore bien élevés.

3° Formule de Devillez.

Elle a été aussi établie sur des canalisations d'air à 5 atm.

$$\frac{H}{l} = \frac{4144}{10^{11}} \frac{\delta u^2}{D^{1,373}},$$

$$D^{1,373} = 0{,}0285.$$

H est la perte de charge par unité de longueur en mètres de mercure. La pression correspondante en kilogrammes est alors :

$$p = H \frac{13{,}595}{10{,}3} = 1{,}32\,H.$$

On a donc :

$H_1 = 1{,}475$	$H_2 = 0{,}369$	$H_3 = 0{,}163$
$p_1 = 1{,}95$	$p_2 = 0{,}488$	$p_3 = 0{,}215$
$P_1 = 13{,}70$	$P_2 = 3{,}44$	$P_3 = 1{,}51$

Les résultats sont très légèrement supérieurs à ceux donnés par la formule de Stockalper, on peut donc les considérer comme trop élevés.

4° Formule de Ledoux.

Cette formule a été établie d'après des expériences faites aux mines d'Anzin sur des canalisations en fer de 100, 71 et 47 mm de diamètre avec de l'air à 6 atm.

$$P^2 - X^2 = 2 \times 0{,}00091 \left(\frac{\delta}{1\,000}\right)^2 \frac{u^2}{D} l \, R.\, T.$$

P pression de l'air à l'origine de la canalisation :

$$P = 84$$

X pression de l'air à l'autre extrémité de la canalisation :

$$R = 29{,}28$$

$$T = 273 + 20 = 293.$$

On trouve ainsi :

$$X_1 = 82{,}85 \qquad X_2 = 83{,}7 \qquad X_3 = 83{,}85$$

et comme pertes de charge :

$$p_1 = 1{,}15 \qquad p_2 = 0{,}3 \qquad p_3 = 0{,}15$$

$$P_1 = 8{,}1 \qquad P_2 = 2{,}12 \qquad P_3 = 1{,}05$$

Ces valeurs ayant paru voisines par excès des valeurs réelles, furent adoptées.

En avril 1900, les canalisations ayant été établies, des expériences furent faites pour vérifier directement les pertes de charge. On maintenait à l'usine une pression constante et l'on chargeait des tramways sans interruption au dépôt de Montrouge de façon à établir dans la conduite une vitesse d'air voisine de 3,222.

Aux essais, cette vitesse fut ainsi maintenue à 3,150 et la perte de charge atteignit 4 kg seulement.

Il semble donc que, pour le calcul de la perte de charge sur

des canalisations d'air sous pression de 80 et 100 kg, la formule de Ledoux puisse être adoptée en modifiant seulement le coefficient et en l'écrivant comme suit :

$$P^2 - X^2 = 2 \times 0{,}000468 \left(\frac{\delta}{1\,000}\right)^2 \frac{u^2}{D}\, l\,R.T.$$

Épaisseurs des tuyaux.

Ces épaisseurs ont été calculées d'après la formule de Lamé :

$$\left(\frac{e}{r} + 1\right)^2 = \frac{R + p}{R - p},$$

dans laquelle :

e épaisseur du tuyau en millimètres;
r rayon intérieur du tuyau en millimètres;
R tension en kilogrammes par millimètre carré;
p pression en kilogrammes par millimètre carré.

Sur la canalisation des Chemins de fer Nogentais, on avait :

	$e = 3$	$r = 20$
Pression normale . .	$p_n = 0{,}50$	$R_n = 3{,}6$ kg
— d'épreuve. .	$p_e = 0{,}75$	$R_e = 5{,}4$ kg

Sur la canalisation Boulogne-Sèvres primitivement établie :

	$e = 7{,}5$	$r = 30$
Pression normale . .	$p_n = 0{,}80$	$R_n = 3{,}66$ kg
— d'épreuve. .	$p_e = 1{,}20$	$R_e = 5{,}5$ kg

Pour des canalisations non enterrées, on avait :

	$e = 5$	$r = 25$
Pression normale . .	$p_n = 0{,}80$	$R_n = 4{,}44$ kg
— d'épreuve. .	$p_e = 1{,}20$	$R_e = 6{,}65$ kg

Ces tuyaux devant être soudés à recouvrement, il importait

beaucoup de ne pas augmenter les épaisseurs plus qu'il n'était nécessaire, car la fabrication est d'autant plus difficile que l'épaisseur du tuyau est plus grande et, en outre, le poids et le prix du tuyau croissent rapidement. D'autre part, ces tuyaux exigent une certaine surépaisseur pour compenser leur oxydation dans le sol.

Finalement les épaisseurs adoptées furent les suivantes :

Diamètres . . .	50	60	75	100 mm
Épaisseurs. . .	6,5	7,5	8,5	10 mm

donnant les tensions ci-dessous pour la pression normale de 0,80 et pour celle d'épreuve de 1,20 :

R_n.	3,52	3,66	3,94	4,44
R_e.	5,28	5,49	5,91	6,66

et un poids au mètre courant de :

π	9	12,5	17,5	27 kg

Mais pour les tuyaux de dilatation dont nous parlerons plus loin, de telles épaisseurs eussent rendu leur flexibilité bien problématique. Aussi fut-on conduit à substituer les tuyaux sans soudure aux tuyaux soudés à recouvrement et à réduire leurs épaisseurs au minimum.

Les valeurs suivantes furent choisies :

Diamètres . . .	50	60	75	100 mm
Épaisseurs. . .	4	5	6	8 mm

donnant les tensions suivantes :

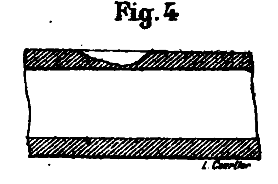
Pression normale	5,45 kg
— d'épreuve.	8,20 kg

et des poids au mètre courant de :

π	5,5	8	12	21,5 kg

L'expérience a justifié ces épaisseurs puisque, depuis 1898, il n'y a eu aucun tuyau fissuré sur toute la canalisation nouvelle. Sur cette canalisation, deux tuyaux seulement ont été changés depuis cette époque pour perforations amenant une fuite. Ces perforations sont dues à des oxydations locales en forme de cratère (*fig. 4*). L'un de ces tuyaux était placé dans un sol de remblais (plâtras et moellons). Ces corrosions furent attribuées à des phénomènes d'électrolyse.

Fig. 4



Sur la canalisation primitive Boulogne-Sèvres, huit à dix cas de ce genre se sont présentés dans des terrains argileux.

Une corrosion analogue fut également constatée sur la canalisation de Puebla dans un terrain de remblai.

Il y a donc certaines précautions à prendre en posant les conduites, afin d'éviter l'oxydation.

La principale consiste à goudronner soigneusement l'extérieur des tuyaux avant leur mise en place. Lorsque le terrain dans lequel passe la canalisation est naturel, les conduites peuvent y être posées sans autre précaution que de les caler soigneusement, pour éviter leur fléchissement et la création de points bas.

Si le sol est formé de remblais et contient des détritus organiques, il est prudent d'entourer les tuyaux d'une légère couche de sable, afin d'éviter le plus possible leur contact avec ces détritus. Grâce à ces précautions, l'oxydation extérieure ne paraît pas pouvoir compromettre la résistance de ces tuyaux.

L'oxydation se fait également à l'intérieur des tuyaux au contact de l'air chaud et humide et l'air entraîne cet oxyde, sous forme de poussières, qu'il faut arrêter près des postes de chargement pour ne pas mettre rapidement hors de service toute la robinetterie de ces postes. On y arrive facilement en intercalant sur ces conduites des sécheurs munis de crépines métalliques à trous de 6/10 de mm et en nettoyant ces sécheurs à intervalles réguliers. En pesant ces résidus et en calculant le poids du fer correspondant, on peut affirmer que si cette perte de métal se répartit également sur toute la canalisation, la résistance de celle-ci ne saurait être compromise pendant de nombreuses années.

L'intérieur des tuyaux doit être soigneusement brossé avant la

mise en place, mais le goudronnage intérieur est non seulement inutile, puisqu'il disparaît presque immédiatement au passage de l'air, mais encore nuisible, car le goudron entraîné encrasse la robinetterie des postes de chargement et des voitures.

Après montage, il est bon de nettoyer les tuyaux au moyen d'une chasse d'air sous pression.

Longueur des tuyaux.

La fabrication de ces tuyaux se faisait sans soudure transversale sur des longueurs de 6 à 10 m seulement, mais il y avait grand intérêt, au point de vue étanchéité, à réduire au minimum le nombre des joints. On a donc accepté des tuyaux à soudure transversale et fixé à 19,50 m la longueur maximum de tuyau compatible avec les transports en chemins de fer et les facilités de manutention.

Ces soudures transversales n'ont d'ailleurs donné lieu à aucun accident, ni même à aucune fuite.

Il y aurait très certainement intérêt, avec les divers systèmes de soudure autogène dont on dispose maintenant, à souder ces tuyaux sur place, de façon à n'avoir de joints qu'aux tuyaux de dilatation.

Lors de l'étude des premières canalisations, on avait prévu celles-ci à environ 1 m sous le sol et suivant le profil de la chaussée ; des purgeurs d'eau étaient placés aux points bas pour retirer l'eau provenant du refroidissement de l'air dans les compresseurs à injection.

La profondeur de 1,20 m est, en effet, celle où les variations de la température extérieure ne se font plus sentir et où, par suite, une canalisation est à l'abri de la gelée.

Des vannes de sectionnement étaient placées tous les kilomètres environ pour faciliter les réparations en localisant les fuites. Leur emploi était d'ailleurs fort critiquable, car cette localisation trop peu limitée forçait à ouvrir des tranchées de grande longueur pour trouver les fuites, et ces vannes, comme les purgeurs, donnaient lieu à des fuites incessantes.

Les nouvelles études furent donc faites en supprimant presque totalement les vannes de sectionnement et en déterminant le profil des canalisations pour avoir le minimum de points bas et,

par suite, de purgeurs, sans craindre de descendre les tuyaux profondément dans le sol (maximum 2 m).

En outre, vannes et purgeurs étaient placés dans des réduits maçonnés et parfaitement accessibles.

Sur les canalisations primitives, tous les changements de direction étaient obtenus avec des tuyaux coudés spéciaux exigeant un grand nombre de joints. L'expérience ayant montré que pour tous les angles supérieurs à 90 degrés le cintrage pouvait se faire sur place après un simple chauffage sur une certaine longueur du tuyau avec une forge portative, tous ces tuyaux spéciaux disparurent.

On ne fit plus usage que de tuyaux étirés sans soudure au quart de cercle, que l'on cintrait à la demande sur place, et de tuyaux de 19,50 m.

Le rayon de courbure doit rester supérieur à quatre fois le diamètre extérieur du tuyau.

Les tuyaux de longueurs spéciales étaient coupés au montage, l'extrémité taraudée, le collet visé et soudé, comme nous le verrons par la suite.

Assemblages des tuyaux.

Le défaut d'étanchéité d'une canalisation provenant toujours des joints, des essais très longs et très minutieux furent entrepris pour déterminer le modèle le plus étanche, sous la surveillance de M. Gouley, Ingénieur des Arts et Manufactures, chef de dépôt principal à la Compagnie Générale des Omnibus, qui devait être chargé par la suite de la pose de toute la nouvelle canalisation.

On établit une série de conduites ayant 5 m de longueur et 7 joints; chacune d'elles munies d'un manomètre et d'une vanne.

On remplissait ces conduites d'air à 80 kg et l'on notait chaque jour les pertes de pression, de façon à calculer par des moyennes la perte de pression par heure pour chacun des types de joints essayés. Ces relevés se faisaient autant que possible à même température.

Les assemblages essayés furent les suivants :

1° Joint type Mékarski. 3 boulons, rondelles en étain;
2° — — — en plomb;
3° — — — en amiante;
4° — — — en caoutchouc;

5° Joint Gibault. 5 boulons, rondelles en caoutchouc;
6° Joint Thosnine. 10 boulons, rondelles bronze et caoutchouc;
7° — — 6 — — —
8° — — 5 — — —
9° Joint Grouvelle;
10° Joint Mékarski. 5 boulons, rondelles en plomb;
11° — — — en étain;
12° — — — en cuivre, système Otto.

Les conclusions de ces essais furent les suivantes :

L'étanchéité augmente avec le nombre des boulons de chaque joint.

Il fallait donc écarter *a priori* tous les joints à 3 boulons seulement (voir *fig. 2*).

En installant toutes les conduites placées dans le sol avec des brides à 3 boulons seulement, alors qu'il en mettait 6 sur les canalisations extérieures des salles de machines, M. Mékarski s'était inspiré de l'idée suivante : rendre parfaitement accessibles tous les boulons d'un joint de conduite placée dans le sol. Nous étions bien d'accord avec lui sur la nécessité d'avoir un nombre de boulons impair, afin qu'il n'y ait pas de boulons placés sous la conduite, mais l'expérience nous avait prouvé que l'emploi de 3 boulons ne donnait cette facilité d'accès qu'au prix de l'étanchéité.

De plus, sur un joint à 3 boulons, ceux-ci ont forcément un diamètre assez considérable et leur serrage exige des clefs à grand levier, d'une manœuvre difficile et pénible en tranchée.

On doit donc adopter au moins 5 boulons pour des diamètres de 50, 60 et 75 mm et 7 boulons pour un diamètre de 100 mm.

Dans ces conditions, ces boulons sont de diamètre moindre et leur serrage se fait facilement avec des clefs de faible levier.

A la suite de ces essais, il ne restait donc plus en présence que trois types de joints.

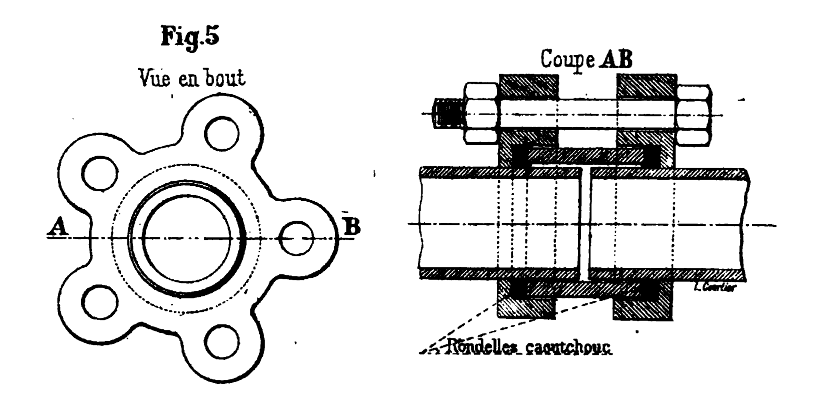
1° Joint Gibault a 5 boulons.

Ce joint (*fig. 5*) est d'un montage facile et d'un prix très réduit, mais il ne répond pas aux exigences de pose de conduites sur la voie publique. Pour monter une conduite d'air sous pression, on est forcé de procéder par petits tronçons, afin de ne laisser les

tranchées ouvertes sur la voie publique que le moins de temps possible.

On pose par suite, 2 à 3 tuyaux (60 m environ), on fait l'essai sous pression et on referme la tranchée. Il faut donc monter un joint plein au bout du dernier tuyau posé et ce joint n'est pas pratiquement exécutable avec le système Gibault.

En outre, ce joint est d'un démontage difficile en raison de la



rouille qui se forme sur les tuyaux, car on ne peut laisser qu'un jeu très faible entre les tuyaux et les brides pour éviter sous pression le laminage du joint plastique dans cet intervalle.

Enfin, l'élasticité des joints plastiques en caoutchouc reste douteuse après plusieurs mois de service.

2° Joint Thomine a 5 boulons.

Ce joint (*fig. 6*) est extrêmement étanche, mais il est un peu compliqué et, par suite, d'un prix de revient assez élevé.

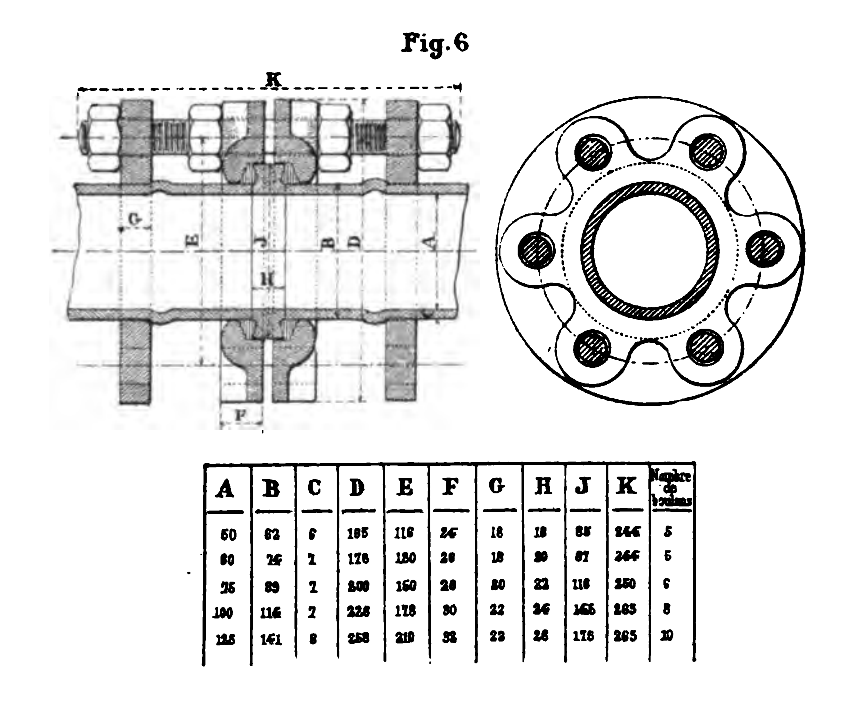
L'observation présentée pour le joint précédent et relative aux joints plastiques en caoutchouc s'applique aussi à ce système.

Enfin, la critique la plus sérieuse est la nécessité d'un mandrinage des tubes pour créer a chaque extrémité un bourrelet servant d'appui aux brides.

Ce mandrinage mal fait est de nature à réduire la résistance des tubes par modification de l'état moléculaire du métal. De

plus, cette opération est difficile à faire sur place pour la mise

Fig. 6



A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	Nombre de boulons
50	62	6	185	116	24	18	18	85	246	5
60	74	7	176	130	26	18	20	87	264	5
75	89	7	200	150	28	20	22	116	250	6
100	116	7	225	178	30	22	24	165	265	8
125	141	8	258	210	32	23	26	175	285	10

à longueur d'un tuyau. Enfin, il faut couper le tuyau pour changer la bride.

3° Joint Mékarski a 5 boulons.

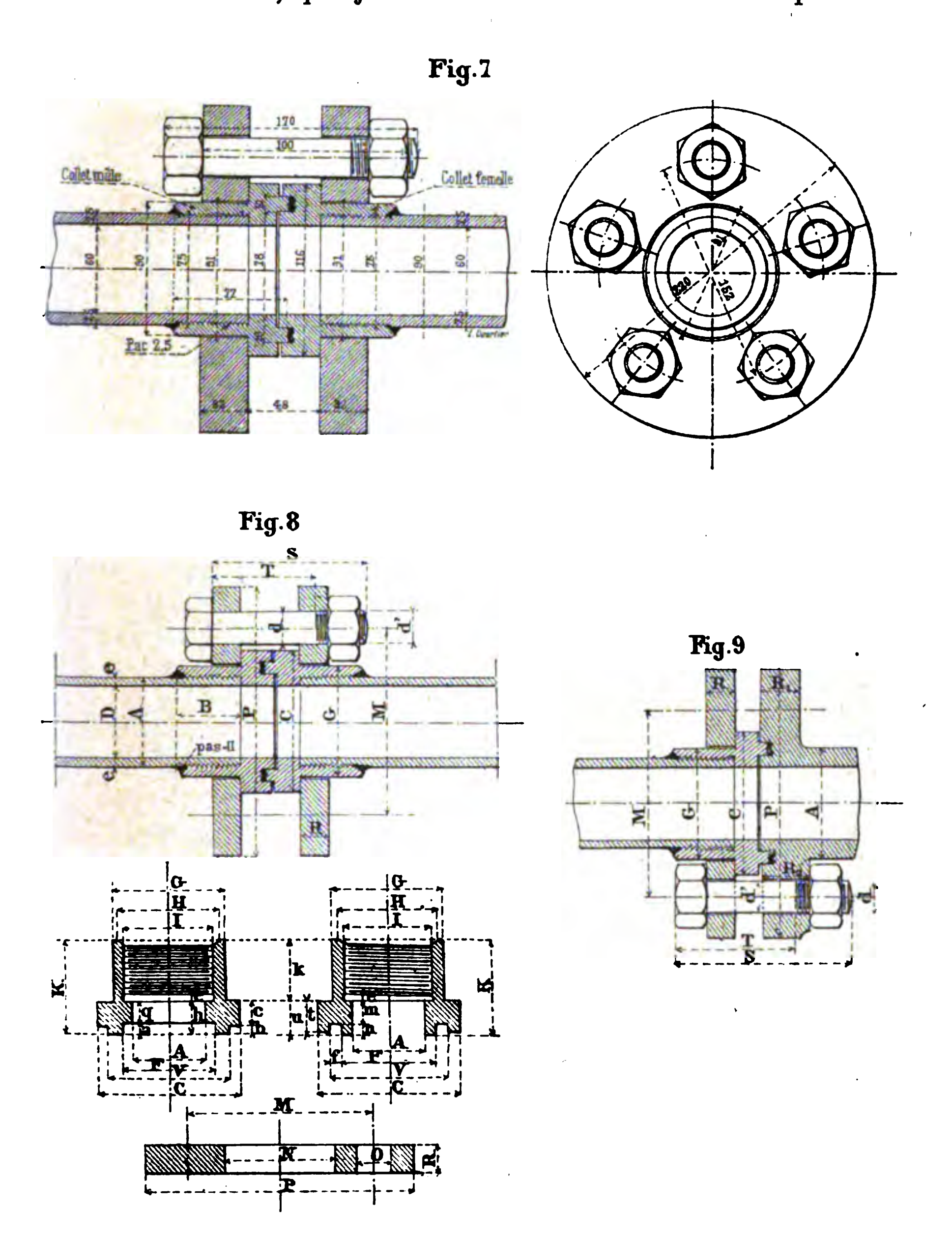
Ce joint (*fig.* 7) est également très étanche; il est simple de construction.

Il fut donc adopté en écartant les rondelles d'amiante et de caoutchouc.

Nous verrons plus loin comment fut déterminée la nature du métal de ces rondelles.

Toutes les dimensions des joints ont été déterminées en admettant une pression d'épreuve de 120 kg par centimètre carré et une compression sur la rondelle de joint de 5 kg par millimètre carré, ce qui a permis de dresser le tableau joint à la figure 8 et celui correspondant à la figure 9 pour les raccords sur pièces en fonte.

L'expérience a montré que les joints ainsi exécutés ont parfaitement résisté, que jamais aucun d'eux n'a cédé et que le



nombre de ceux qu'il est nécessaire de resserrer chaque année ne dépasse jamais 10 à 12.

Tableau des dimensions des brides pour canalisations d'air comprimé. Pression d'épreuve, 120 kg.

(Brides courantes.)

DIAMÈTRES	50	60	75	100
	Conduites d'air.			
D	50	60	75	100
e	6,5	7,5	8,5	10
A	63	75	92	120
B	48	55	65	85
π	2	2,5	3	3,5
	Collets des joints.			
C	99	116	142	179
V	83	98	119	148
F	65	78	95	120
f	9	10	12	14
G	76	90	111	144
H	67	80	98	128
I	61	72	87	114
l	5	5	6	7
k	45	50	58	80
	Collets mâles.			
K	72	77	91	118
b	7	7	8	9
c	20	20	25	29
a	9	9	11	12
q	18	18	22	26
h	27	27	33	38
	Collets femelles.			
m	18	22	22	26
n	10	10	12	14
L	73	78	92	120
u	28	28	34	40
p	8	8	9	11
t	26	26	31	37
	Brides tournantes.			
P	179	220	245	285
M	128	152	180	218
N	77	91	112	145
O	25	28	33	34
R	25	28	35	35
	Boulons des brides.			
Nombre	5	5	5	7
d	23	26	31	32
d'	24	27	32	33
S	125	135	170	180
T	90	96	120	125

Tableau des dimensions des brides
pour canalisations d'air comprimé. Pression d'épreuve, 120 kg.

(BRIDES DE FIXATION DES APPAREILS EN FONTE.)

DIAMÈTRES	50	60	75	100
		Brides tournantes.		
P	185	220	255	310
M	136	162	189	234
N	77	91	112	145
O	25	28	33	34
R	25	28	35	35
		Brides en fonte.		
R_1	30	34	34	40
R_2	30	34	45	50
A_1	82	98	123	164
		Boulons des brides.		
Nombre	5	5	5	7
d	23	26	31	32
d'	24	27	32	33
S	110	120	150	165
T	70	70	95	105

Tampons-écoute.

Il ne suffit pas d'avoir des joints aussi étanches que possible, il faut pouvoir vérifier à chaque instant cette étanchéité.

Or nous avons vu que sur les premières canalisations établies, toutes d'ailleurs extérieures aux fortifications, on s'était contenté de placer de distance en distance des vannes permettant d'isoler des parties de ces conduites et de vérifier ainsi l'étanchéité de ces sections.

Nous avons dit précédemment que ces vannes étaient elles-mêmes une cause de fuites, mais leur emploi exige encore l'ouverture de longues tranchées; de là une occupation de la voie publique inacceptable dans Paris et des réfections de sol très onéreuses sur les trottoirs d'une ville.

Fig. 10

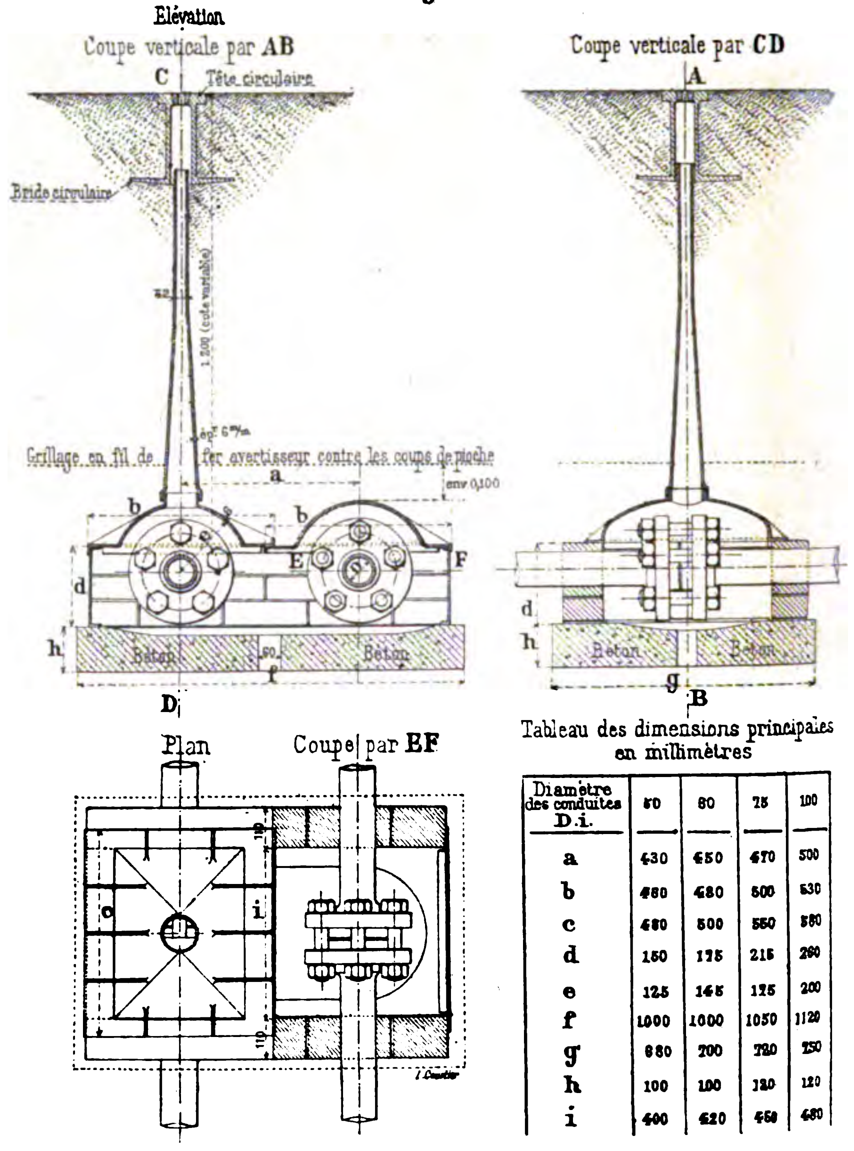


Tableau des dimensions principales en millimètres

Diamètre des conduites D.i.	50	60	75	100
a	430	450	470	500
b	460	480	500	530
c	460	500	550	580
d	150	175	215	260
e	125	145	175	200
f	1000	1000	1050	1120
g	680	700	720	750
h	100	100	120	120
i	400	420	450	480

Enfin, le passage de l'air détériore les sièges et les clapets et la vanne ne reste jamais assez étanche pour qu'en cas d'isolement, on puisse être certain qu'il y a d'autres fuites sur la section.

Il faut donc avoir le moyen de vérifier chaque joint de l'extérieur pour n'entreprendre de travaux sur la voie publique qu'avec la certitude qu'ils sont nécessaires et pour limiter les fouilles aux joints défectueux.

Le problème fut résolu par l'établissement d'un tampon-écoute *(fig. 10)* au-dessus de chaque joint.

Les conduites, toujours au nombre de deux et parfois de trois, se posaient parallèlement à une distance variant de 0,430 à 0,500 suivant les diamètres; les joints sensiblement dans le même plan de façon à ne disposer qu'un seul tampon-écoute par groupe de joints.

Sur une aire en béton on dressait deux murettes en briques sur plat calant les tuyaux. Le caisson était fermé latéralement et sur le dessus par des plaques en fonte.

L'une des plaques supérieures se prolongeait jusqu'au sol par un tube de longueur variable suivant le niveau de la canalisation et aboutissait à un tampon effleurant le sol.

En retirant le tampon et en approchant l'oreille du tube, on distingue très nettement la moindre fuite par le léger sifflement qu'elle produit. Les visites de joints sont donc extrêmement faciles et le serrage d'un joint n'exige qu'un travail très limité.

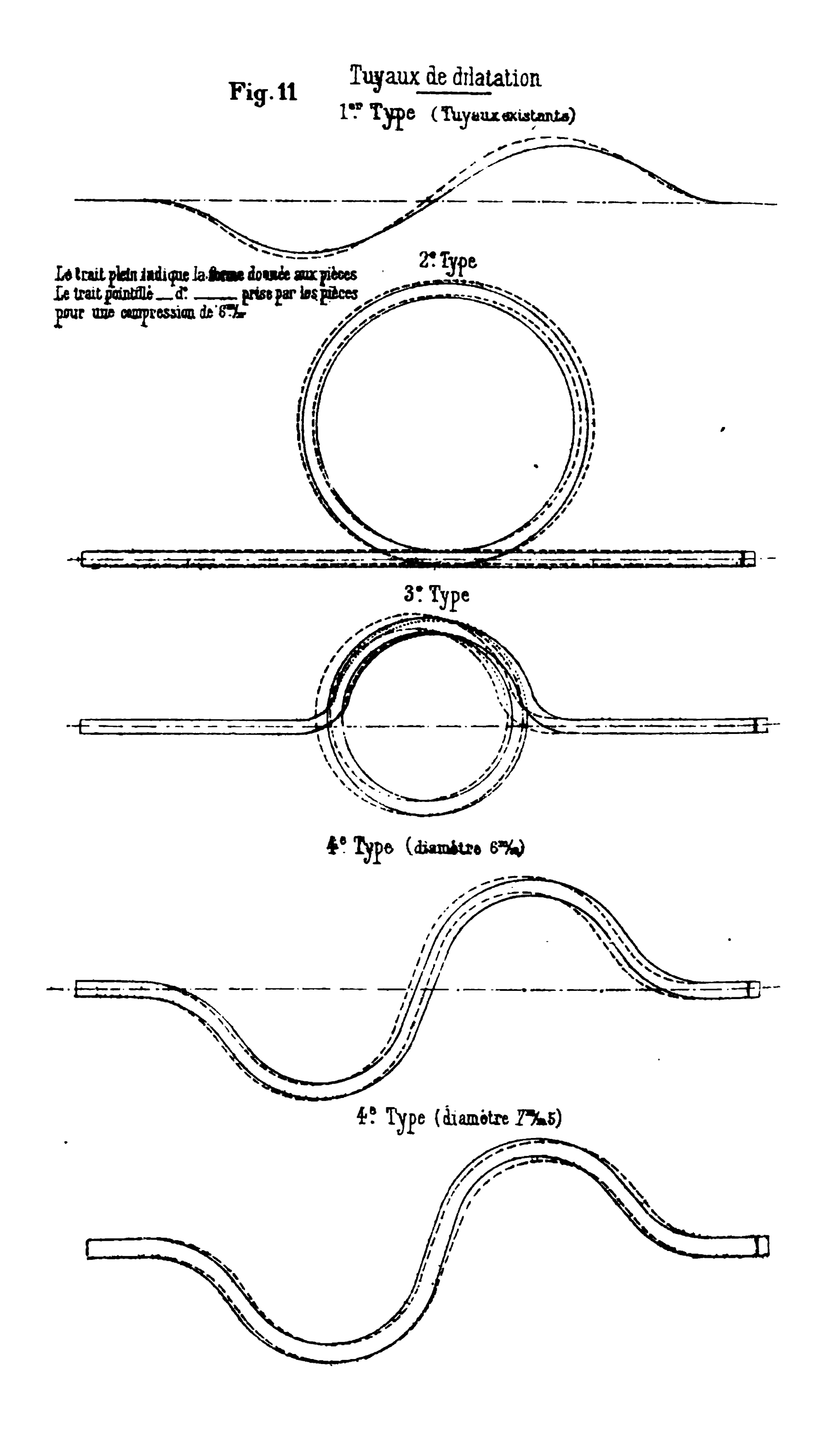
Tuyaux de dilatation.

Le choix du métal à employer pour les rondelles de joint est intimement lié à la question de la dilatation des conduites.

Ces canalisations d'air comprimé sont en effet soumises à des variations de température notables, surtout au voisinage de l'usine.

L'air peut y pénétrer à 50 degrés et en hiver à l'arrêt du service la température peut y descendre au voisinage de zéro degré. L'écart total de température semble donc pouvoir être estimé à 50 degrés et il est indispensable de compenser les dilatations correspondantes de la tuyauterie par des tuyaux cintrés dits « tuyaux de dilatation », dont la forme et le nombre exigent une sérieuse étude.

Si, en effet, l'effort considérable produit par la dilatation de la


Fig. 11
Tuyaux de dilatation
1er Type (Tuyaux existants)
2e Type
Le trait plein indique la forme donnée aux pièces
Le trait pointillé — d° — prise par les pièces
pour une compression de 6m/m
3e Type
4e Type (diamètre 6m/m)
4e Type (diamètre 7m/m5)

conduite n'est pas compensé entièrement par la variation de longueurs des tuyaux spéciaux, cet effort se reporte sur les rondelles de joints. Si celles-ci sont en matière élastique, en caoutchouc par exemple, elles reprennent leur volume primitif lors du retrait de la canalisation et il n'y a pas de fuites au joint. Malheureusement la conservation de l'élasticité du caoutchouc paraît fort douteuse.

Avec des rondelles très dures, celles en cuivre notamment, la dilatation ne peut se produire sur le joint et tend à faire cintrer les tubes; les joints s'ouvrent et les fuites se produisent aux températures élevées.

Avec des joints mous, comme le plomb, celui-ci s'écrase sous la dilatation et au retrait ne revient plus à son épaisseur primitive: les joints fuient en hiver.

Il y avait donc intérêt de premier ordre à déterminer la forme des tuyaux de dilatation et à évaluer pour les divers profils possibles la force, que peut leur faire subir une compression fixée *a priori*.

Nous avions admis les données suivantes :

Écart de température.	50 degrés
Distance entre deux tuyaux de dilatation. .	50 m
Dilatation du métal par mètre de longueur et 100 degrés d'écart de température. . .	1,2 mm
Longueur d'un tuyau de dilatation.	1,500 m

La compression de chaque tuyau de dilatation doit donc être de :

$$\frac{1{,}2 \times 50}{2} = 30 \text{ mm.}$$

Ne pouvant songer à faire ces essais sur les tuyaux eux-mêmes, nous eûmes recours à l'artifice suivant dû à M. Bourdon, chef des Études du service de la traction mécanique : préparer des fils en acier trempé et recuit représentant, à l'échelle du 1/5, les diverses formes possibles de tuyaux de dilatation et faire des essais de compression directe sur ces fils en réduisant leur déformation à :

$$\frac{1}{5} \times 30 = 6 \text{ mm.}$$

Les extrémités de chaque fil étaient encastrées dans des

plaques que l'on chargeait de poids tout en les maintenant rigoureusement parallèles.

On mesurait ainsi les charges nécessaires pour obtenir sur ces fils un même raccourcissement de 6 mm et on relevait les déformations de leur gabarit sous cette charge.

La figure 11 montre en traits pleins les formes proposées pour les tuyaux de dilatation, et en traits pointillés les formes prises par ces tuyaux sous un aplatissement de 6 mm.

Le profil n° 1 était celui des canalisations déjà établies.

Le profil n° 2 ne semblait pas d'un placement facile en tranchée.

Le profil n° 3 à spire symétrique était moins encombrant, mais comme le profil précédent exigeait de l'attention au montage pour ne pas créer de point bas sur la canalisation.

Les profils 4 et 4 *bis* étaient identiques, mais avec des diamètres de fils différents.

Les charges nécessaires pour déterminer un aplatissement de 6 mm ont ont été les suivantes :

Profil	n° 1	95 kg
—	n° 2	8 kg
—	n° 3	33 kg
—	n° 4	37 kg
—	n° 4 *bis*	75 kg

On est de suite frappé du peu de flexibilité que présentait le type n° 1.

Au contraire, le profil n° 2 est extrêmement flexible, mais sa déformation montre qu'il se produit une flexion sensible près des brides d'encastrement et qu'il peut en résulter une fatigue du métal accroissant les chances de rupture en ces points.

Le profil n° 3 indique une flexibilité largement suffisante; aucune flexion n'est visible dans les sections d'encastrement, mais la fabrication eut été plus onéreuse.

Le profil n° 4, qui n'est que le profil primitif modifié pour augmenter les rayons de courbure, présente les mêmes avantages que le profil n° 3. Étant d'exécution plus simple, il a été adopté.

Afin de tirer des conclusions pratiques de ces essais, nous avions admis que pour des pièces ayant même longueur et mêmes courbures, mais des diamètres différents les charges déterminant

une compression identique devaient varier dans le rapport $\frac{I}{v}$ (I moment d'inertie). Ces diamètres ne variant évidemment que dans des limites assez restreintes.

Il était donc intéressant de vérifier cette hypothèse et c'est ce qui a été fait sur les profils 4 et 4 *bis*.

	Profil 4.		Profil 4 *bis*.
Diamètre du fil	6 mm		7,5 mm
$\frac{I}{V} = 0{,}0982\, d^3$	21,21		41,42
Rapport		1,95	
Charge de compression.	37 kg		75 kg
Rapport		2,03	

Ces deux rapports sont sensiblement égaux et l'hypothèse paraît vérifiée.

On a donc admis que la charge nécessaire, par unité du rapport $\frac{I}{V}$ était la moyenne des deux valeurs obtenues avec les profils 4 et 4 *bis*.

$$\text{Profil 4} \quad \frac{37}{21{,}21} = 1{,}74.$$

$$\text{Profil 4 } bis \quad \frac{75}{41{,}42} = 1{,}81.$$

$$\text{Moyenne : } 1{,}775.$$

Considérons maintenant un tuyau de dilatation de 60 mm de diamètre intérieur et de 0,005 d'épaisseur :

$$\frac{I}{V} = 0{,}0982\, \frac{\overline{70}^4 - \overline{60}^4}{70} = 15\,502.$$

La résistance de l'acier trempé et recuit des fils étant à celle de l'acier doux et recuit des tuyaux dans le rapport de 100/60, on pouvait en conclure que l'effort nécessaire à comprimer le tuyau de 30 mm devait être :

$$15\,502 \times \frac{60}{100} \times 1{,}775 = 16\,510 \text{ kg}.$$

En faisant l'hypothèse que cette force de 16 510 kg n'exerce sur le tuyau qu'une simple compression sans flexion, on voit que le métal dont la section est 0,001021 m² travaille à 16,25 kg.

En se reportant au tableau *(fig. 8)* qui donne les dimensions des rondelles de joints (78 × 98) soit une surface de 0,002765 m² par joint, il est possible de calculer la pression unitaire sur ces joints. Elle serait de 6 kg pour le tuyau de 60 mm de diamètre.

En faisant les mêmes calculs pour les trois autres types de conduites, on obtient le tableau ci-dessous :

Diamètre intérieur du tuyau d = . .	50	60	75	100
Diamètre extérieur du tuyau D = . .	58	70	87	116
Valeur de $\frac{I}{V}$ = ...	8 550	15 502	28 900	68 500
Pression nécessaire pour réduire de 30 mm la longueur du tuyau de dilatation, supposé de 1 500 m de long.	9 100	16 550	30 800	73 000
Section du tuyau : $\frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)$ en mm².	678	1 021	1 527	2 714
Compression par mm²	13,4	16,25	20.2	26,8
Dimensions des rondelles de joint . . .	83/65	98/78	119/95	148/120
Surface de ces rondelles en mm² . . .	2 092	2 765	4 034	5 894
Pression par mm²	4,34	6	7,65	12,4

Certains de ces chiffres ayant paru très élevés, il fut apporté des modifications avant l'exécution aux hypothèses du calcul précédent.

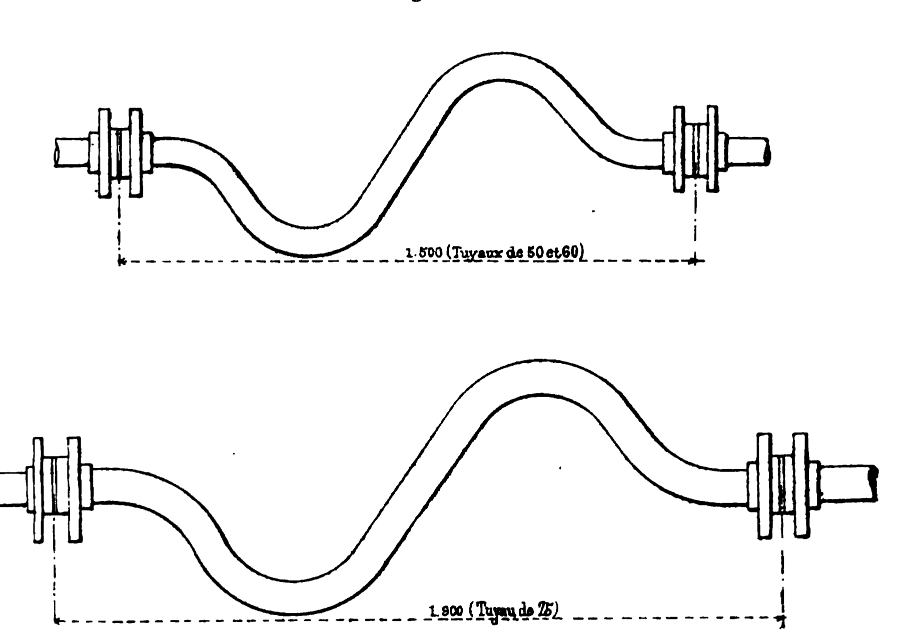
Au lieu d'une longueur unique de 1,500 m pour tous les tuyaux de dilatation, quel que fut leur diamètre, on a adopté les dimensions suivantes *(fig. 12)* :

Diamètre des tuyaux	50	60	75	100 mm
Longueur des tuyaux de dilatation. .	1,500	1,500	1,900	2,500 m

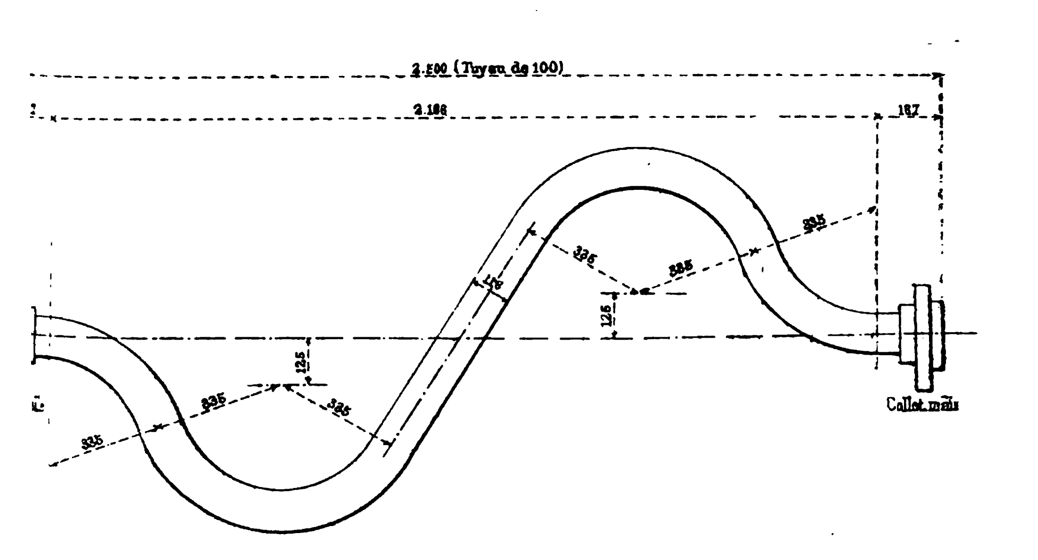
De plus, au départ de l'usine les tuyaux de dilatation ont été intercalés après deux tuyaux droits de 19,50 m, soit tous les 39 m seulement; puis, à 1 km environ cet intervalle a été porté à 58,50 m (trois tuyaux).

Au point de vue dilatation seule, cet intervalle pouvait être largement accru en s'éloignant de l'usine, mais au montage il n'a pas été suivi de règle bien précise car on s'est servi des tuyaux de dilatation pour éviter de faire tomber les joints de

Fig. 12



1.500 (Tuyaux de 50 et 60)
1.900 (Tuyau de 75)



2.500 (Tuyau de 100)
2.186
187
335
335
335
335
335
335
125
125
Collet mâle

canalisation sur les chaussées et de sectionner à cet effet des tuyaux de 19,50 m.

Ces tuyaux de dilatation permettaient aussi de rattrapper des différences de longueur des canalisations parallèles dues à leurs changements de direction, et à ramener ainsi tous les joints sensiblement dans le même plan. Nous avons vu plus haut que cela était nécessaire pour l'établissement des tampons-écoute.

En résumé, on peut affirmer que les efforts réels de compression sur les tubes de dilatation sont très inférieurs à ceux calculés plus haut.

Rondelles de joint.

Les pressions exercées sur les rondelles et que nous avons calculées plus haut, paraissent exagérées, mais on peut les considérer comme des maxima, parce que :

1° Les écarts de température admis sont rarement atteints;

2° Les tuyaux de dilatation sont plus rapprochés que ne le suppose le calcul;

3° La pression se répartit au moins sur trois joints.

Il est indispensable que la saillie et la gorge de l'encastrement soient rigoureusement tournées aux cotes des dessins.

Les tuyaux ont été tous essayés à la presse hydraulique sous pression d'épreuve $P + 1/2 P$, P étant la pression normale.

Tous les collets ont été réceptionnés au moyen de gabarits et sur l'encastrement il n'a pas été accordé de tolérance supérieure à 1/10 mm.

Dans ces conditions la rondelle de joint peut être en plomb, comme cela existe à la Compagnie Générale des Omnibus.

On peut aussi ajouter un peu d'étain au plomb, pour augmenter la dureté du métal.

M. Mékarski a employé, sur la canalisation d'Aix-les-Bains, le joint en plomb serti dans des bagues de cuivre extérieurement et intérieurement. On peut, avec ce joint, laisser un jeu plus considérable dans l'encastrement du joint, car le cuivre empêche le plomb d'être chassé par ce jeu. L'emploi de cette rondelle permet aussi l'utilisation d'un joint défectueux.

PRIX DE REVIENT

L'installation de canalisations d'air comprimé est évidemment assez onéreuse ; le prix est d'ailleurs très variable avec les difficultés que présente la pose. On peut en donner à titre d'exemple la décomposition pour une canalisation double de 75 mm de diamètre et de 1 km de longueur :

Tuyaux	24 000 f
Joints	4 300
Tuyaux de dilatation	3 850
Appareils de purge	535
Tampons-écoute	1 260
Réception et pose des tuyaux. Divers.	655
Travaux de terrasse, réfection des chaussées	8 600
TOTAL	43 200 f

Soit 43,20 f le mètre.

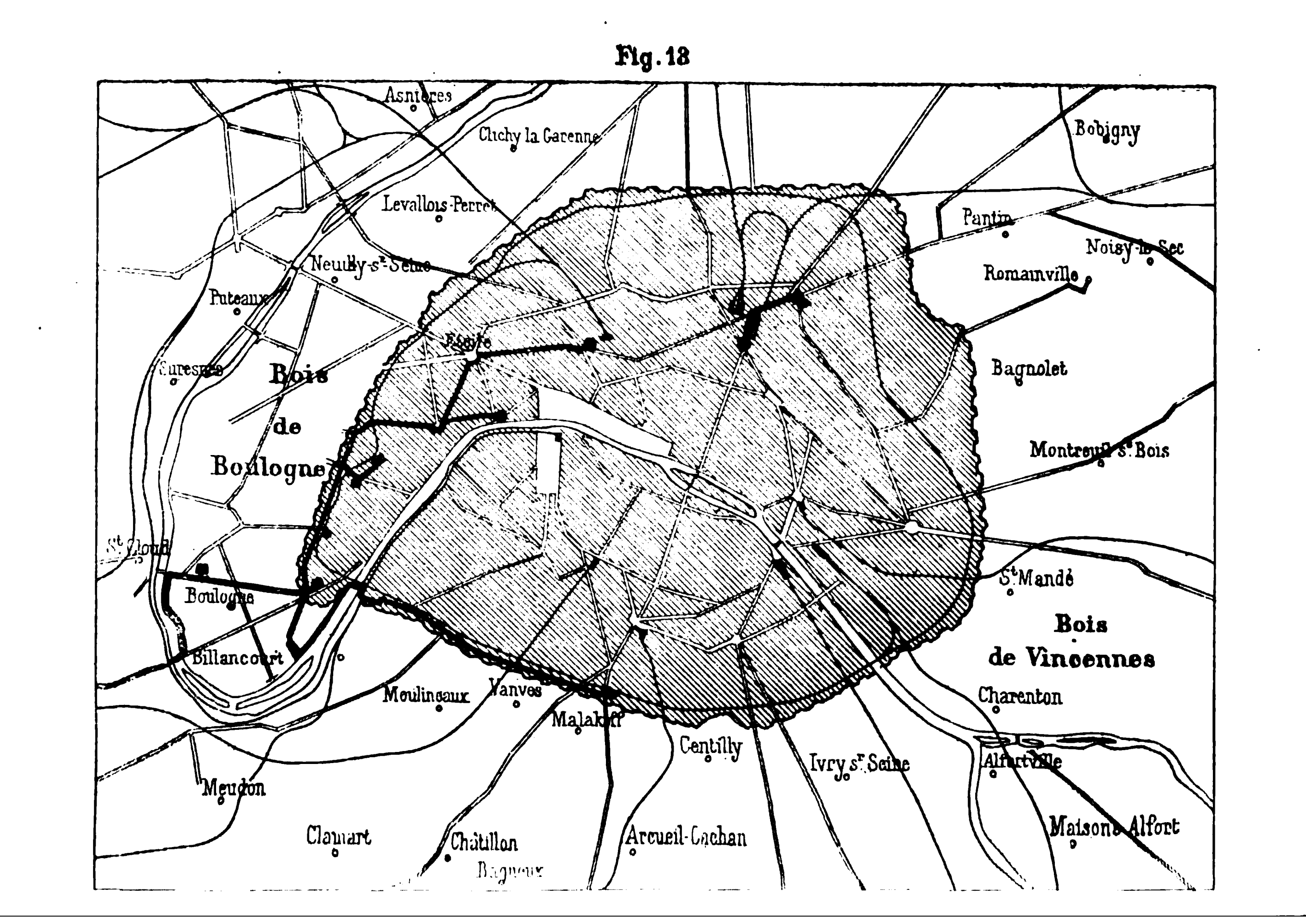
Réseau de la Compagnie Générale des Omnibus.

Le réseau de canalisation d'air sous pression de la Compagnie Générale des Omnibus a été posé à trois époques différentes (voir plan n° 13) :

Le premier groupe a été établi en 1893-94 avant les études développées dans cette note ; il comprend :

	Diamètre des tuyaux.	Nombre de tuyaux.	Longueur de la canalisation.	Longueur totale des tuyaux.
	mm		m	m
1° De l'usine de Puebla au Rond-Point de la Villette	60	2	80	160
2° De l'usine de Boulogne au dépôt de Sèvres	60	1	3.885	3 885
3° De l'usine de Boulogne à la porte du Point-du-Jour	60	2	1 875	3 750
TOTAUX			5 840	7 795

Fig. 18



Asnières
Clichy la Garenne
Bobigny
Levallois-Perret
Pantin
Noisy-le-Sec
Neuilly-s^r-Seine
Romainville
Puteaux
Étoile
Suresnes
Bois
de
Boulogne
Bagnolet
Montreuil-s^s-Bois
St Cloud
St Mandé
Boulogne
Bois
de Vincennes
Billancourt
Moulineaux
Vanves
Malakoff
Charenton
Gentilly
Ivry-s^r-Seine
Alfortville
Meudon
Maisons-Alfort
Clamart
Châtillon
Bagneux
Arcueil-Cachan

Le deuxième groupe a été monté de 1898 à 1901 ; il comprend :

	Diamètre des tuyaux.	Nombre de tuyaux.	Longueur de la canalisation.	Longueur totale des tuyaux.
	—	—	—	—
	mm		m	m
1° De l'usine de Billancourt au dépôt de Montrouge.	75	3	7 052	21 156
2° De l'usine de Billancourt au dépôt du Point-du-Jour	100	3	1 133	3 399
3° Du dépôt du Point-du-Jour au branchement du dépôt d'Auteuil .	100	2	1 114	2 228
4° Du branchement du dépôt d'Auteuil à celui du dépôt de Mozart (avenue Ingres).	100	2	1 136	2 272
5° Du branchement du dépôt de Mozart (avenue Ingres) à celui de l'Alma (place du Trocadéro) . . .	75	2	2 273	4 546
6° De la place du Trocadéro à la place de l'Étoile (avenue de Friedland).	60	2	1 418	2 836
7° De la place de l'Étoile au Faubourg Saint-Honoré	50	2	725	1 450
8° Branchement du dépôt d'Auteuil.	60	2	177	354
	50	2	179	358
9° Branchement du dépôt de Mozart.	60	2	1 330	2 660
10° Branchement de la place de l'Alma.	50	2	1 132	2 264
TOTAUX.			17 669	43 523

Soit 17 669 m de canalisations, dont :

3 383 m en 100 mm
9 325 — 75
2 925 — 60
2 036 — 50

et 43 523 m de tuyaux se décomposant en :

7 899 m en 100 mm
25 702 — 75
5 850 — 60
4 072 — 50

Le troisième groupe a été monté depuis 1902 et il comprend :

	Diamètre des tuyaux.	Nombre de tuyaux.	Longueur de la canalisation.	Longueur totale des tuyaux.
	mm		m	m
1° Du Faubourg Saint-Honoré (avenue de Friedland) à la place Saint-Augustin	50	2	1 101	2 202
2° Du dépôt de Puebla à la gare de l'Est.	50	2	1 425	1 425
Totaux.			2 526	3 627

Le réseau de la Compagnie Générale des Omnibus comprend donc finalement 26 035 m de canalisation et 54 945 m de tuyaux.

Comme on peut admettre qu'il y a approximativement un joint tous les 13 m en moyenne, on arrive à un total de 4 200 joints environ.

Or nous avons dit plus haut qu'il n'y avait jamais plus de 10 à 12 joints à resserrer chaque année, soit 0,28 0/0.

Ce chiffre peut servir de conclusion à la présente note.

L'ÉQUATION GÉNÉRALE

DE

L'ÉLASTICITÉ DES CONSTRUCTIONS

ET SES APPLICATIONS

PAR

M. BERTRAND DE FONTVIOLANT

---

1. — L'équation générale qui fait l'objet de la présente Note, et que nous avons introduite en juin 1906 dans notre enseignement à l'École Centrale des Arts et Manufactures, renferme toute la théorie de l'Élasticité des constructions.

Elle permet de déterminer les déformations élastiques d'une construction quelconque et de former, dans tous les cas, et sans recherche spéciale, les équations nécessaires au calcul des efforts dans les pièces et les systèmes de pièces hyperstatiques (*).

CHAPITRE PREMIER

Équation générale de l'élasticité des constructions.

2. — Établissement de l'équation dans le cas d'une pièce unique.

Pour plus de clarté, nous considérerons d'abord le cas d'une pièce unique, à fibre moyenne plane ou gauche, et nous montrerons ensuite comment l'équation obtenue s'étend au cas général d'un système de pareilles pièces assemblées entre elles d'une manière quelconque.

(*) Il est rappelé qu'une pièce ou un système de pièces sont dits *isostatiques* ou *hyperstatiques* suivant que la Statique pure permet ou non de déterminer les réactions de leurs appuis et les réactions mutuelles des diverses pièces composant le système.

La pièce AB (*fig. 1*) possède un nombre quelconque d'appuis simples, à rotule, ou à encastrement (ces appuis ne sont pas représentés sur la figure); elle est donc isostatique ou hyperstatique, peu importe. Elle est sollicitée par des forces quelconques F et elle est soumise à une variation de température de τ degrés comptée à partir de la température de pose sur les appuis, positivement en cas d'élévation, négativement en cas d'abaissement.

Sous l'action des forces F et de la variation de température, la pièce se déforme : Tout point de celle-ci prend un déplacement linéaire absolu. Toute section transversale prend un déplacement absolu de rotation autour d'un axe passant par son centre de gravité, mais non nécessairement situé dans le plan de la section ; nous définirons cette rotation par son axe représentatif.

Soient :

1° $$D_1, \quad D_2, \quad D_3 \ldots,$$

des points arbitrairement choisis;

$$\lambda_1, \quad \lambda_2, \quad \lambda_3 \ldots,$$

les projections des déplacements absolus de ces points, sur des directions données :

$$Q_1, \quad Q_2, \quad Q_3 \ldots;$$

2° $$(X_1), \quad (X_2), \quad (X_3) \ldots,$$

des sections arbitrairement choisies ;

$$\varphi_1, \quad \varphi_2, \quad \varphi_3 \ldots,$$

les projections des axes représentatifs des rotations absolues de ces sections, sur des directions données

$$R_1, \quad R_2, \quad R_3 \ldots.$$

L'équation générale que nous nous proposons d'établir est celle qui existe entre les déplacements linéaires absolus projetés λ_1, λ_2, $\lambda_3 \ldots$, et les rotations absolues projetées φ_1, φ_2, $\varphi_3 \ldots$

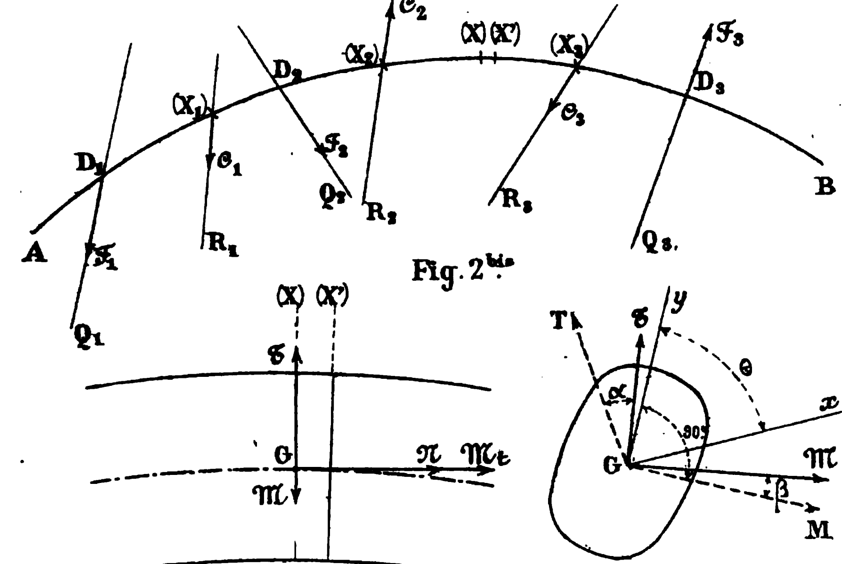
Fig. 1

(X) (X') (X₂) (X₁) (X₃) F D₁ D₂ D₃ Q₁ Q₂ Q₃ R₁ R₂ R₃ A B

Fig. 1bis

(X) (X') T G N M_t M y x θ 90° G M T

Fig. 2



Remarquons d'abord que, sous l'action des forces F et de la variation de température, il se produit dans une section quelconque (X) des forces élastiques réductibles *(fig. 1 bis)* à :

1° Une compression normale N;

2° Un effort tranchant T;

3° Un couple de flexion M;

4° Un couple de torsion M_t;

et que le déplacement relatif de cette section, par rapport à une section infiniment voisine (X'), se compose de :

1° Une translation $\left(\frac{N}{E\Omega} - \delta\tau\right)ds$, suivant la direction de N;

2° Une translation $\frac{T}{G\Omega}\,ds$, suivant la direction de T;

3° Une rotation $\frac{M \sin\theta}{EI_x}\,ds$, autour de l'axe Gx de la flexion simple;

4° Une rotation $\frac{M_t}{GI_p}ds$, autour de la normale en G à la section.

Dans ces expressions :

ds est l'élément de fibre moyenne compris entre les deux sections infiniment voisines (X) et (X');

Ω est l'aire de la section (X);

I_x est le moment d'inertie de cette section relatif à l'axe Gx de la flexion simple, qui, comme on le sait, est, dans l'ellipse centrale d'inertie, le diamètre conjugué de la trace Gy du plan du couple de flexion, sur la section;

θ est l'angle de Gx et de Gy;

I_p est le moment d'inertie polaire de la section (X);

E, G et δ sont respectivement le module d'élasticité longitudinale, le module d'élasticité transversale et le coefficient de dilatation de la matière constituant la pièce.

Cela posé, ramenons la pièce à sa température de pose et supprimons les forces F ainsi que les appuis.

La pièce, ainsi rendue complètement libre, reprend sa forme initiale. Appliquons-lui *(fig. 2)*, aux points

$$D_1, \quad D_2, \quad D_3 \ldots,$$

des forces *auxiliaires*

$$\mathfrak{F}_1, \quad \mathfrak{F}_2, \quad \mathfrak{F}_3 \ldots,$$

suivant les directions

$$Q_1, \quad Q_2, \quad Q_3 \ldots;$$

et, sur les sections

$$(X_1), \quad (X_2), \quad (X_3) \ldots,$$

des couples *auxiliaires*

$$\mathfrak{C}_1, \quad \mathfrak{C}_2, \quad \mathfrak{C}_3 \ldots,$$

d'axes dirigés suivant

$$R_1, \quad R_2, \quad R_3 \ldots,$$

forces et couples astreints à former un système satisfaisant aux six conditions générales d'équilibre.

Sous l'action de ce système de forces et couples auxiliaires, il naît, dans une section quelconque (X), des forces élastiques réductibles *(fig. 2 bis)* à :

1° Une compression normale $\mathfrak{N}$;

2° Un effort tranchant $\mathfrak{T}$;

3° Un couple de flexion $\mathfrak{M}$;

4° Un couple de torsion $\mathfrak{M}_t$.

La direction de $\mathfrak{T}$ ne coïncide pas nécessairement avec celle de T; appelons α leur angle. De même l'axe du couple $\mathfrak{M}$ n'a pas non plus nécessairement la même direction que l'axe du couple M; soit β leur angle.

A présent, appliquons le principe des vitesses virtuelles (*)

(*) L'idée d'appliquer le principe des vitesses virtuelles à l'étude des questions où interviennent les déformations élastiques n'est pas nouvelle : ainsi que le mentionne M. Maurice Lévy dans son magistral traité de Statique graphique, Möhr, dès 1875, utilisa ce principe pour la détermination des tensions dans les systèmes articulés à barres surabondantes.

Le but ici poursuivi est plus général : il s'agit en effet de déduire de ce même principe une équation qui synthétise toute la théorie de l'Élasticité des Constructions.

à la pièce en équilibre sous l'action de toutes les forces qui sollicitent ses divers points matériels, savoir (*fig.* 2 *et* 2 *bis*) :

1° Les forces auxiliaires $\mathfrak{F}_1$, $\mathfrak{F}_2$, $\mathfrak{F}_3$.... et les couples auxiliaires $\mathcal{C}_1$, $\mathcal{C}_2$, $\mathcal{C}_3$.... ;

2° Les forces intérieures ou élastiques qui, comme il vient d'être dit, sont réductibles, dans toute section (X), à $\mathfrak{N}$, $\mathfrak{T}$, $\mathfrak{M}$ et $\mathfrak{M}_t$.

Comme déplacements virtuels, nous pouvons prendre les déplacements réels subis par les divers points de la pièce donnée (*fig.* 1), dans sa déformation sous l'action des forces F et de la variation τ de la température ; effectivement, ces déplacements, étant purement élastiques, sont compatibles avec les liaisons des points matériels constituant la pièce, qui sont exclusivement les liaisons moléculaires de la matière.

D'après cela, nous devons écrire que la somme des travaux des forces prises dans les figures 2 et 2 *bis*, pour les déplacements pris dans les figures 1 et 1 *bis*, est nulle.

Or, dans ces conditions :

1° La somme des travaux virtuels des forces extérieures est

$$\mathfrak{F}_1\lambda_1 + \mathfrak{F}_2\lambda_2 + \mathfrak{F}_3\lambda_3 + \dots + \mathcal{C}_1\varphi_1 + \mathcal{C}_2\varphi_2 + \mathcal{C}_3\varphi_3 + \dots \text{ (*)};$$

2° La somme des travaux virtuels des forces intérieures ou élastiques est, pour la tranche d'épaisseur ds, comprise entre les deux sections (X) et (X'),

$$-\mathfrak{N}\left(\frac{N}{E\Omega}-\delta\tau\right)ds-\mathfrak{T}\frac{T}{G\Omega}\cos\alpha\, ds-\mathfrak{M}\frac{M\sin\theta}{EI_x}\cos(90^\circ-\theta-\beta)ds\text{(*)}-\mathfrak{M}_t\frac{M_t}{GI_p}ds;$$

et, pour toute la pièce, en appelant s la longueur totale de sa fibre moyenne AB,

$$-\int_0^s\left[\mathfrak{N}\left(\frac{N}{E\Omega}-\delta\tau\right)+\mathfrak{T}\frac{T\cos\alpha}{G\Omega}+\mathfrak{M}\frac{M\sin\theta\sin(\theta+\beta)}{EI_x}+\mathfrak{M}_t\frac{M_t}{GI_p}\right]ds.$$

(*) Il faut se rappeler que le travail d'un couple, pour un déplacement de rotation, est égal au produit du couple par la projection de l'axe représentatif de la rotation sur l'axe du couple.

Le principe des vitesses virtuelles donne donc

$$\left.\begin{aligned} &\mathcal{F}_1\lambda_1 + \mathcal{F}_2\lambda_2 + \mathcal{F}_3\lambda_3 + \ldots + \mathcal{C}_1\varphi_1 + \mathcal{C}_2\varphi_2 + \mathcal{C}_3\varphi_3 + \ldots \\ &= \int_0^{s_1}\left[\mathcal{N}\left(\frac{N}{E\Omega} - \delta\tau\right) + \mathcal{T}\frac{T\cos\alpha}{G\Omega} + \mathcal{M}\frac{M\sin\theta\sin(\theta+\beta)}{EI_x} + \mathcal{M}_t\frac{M_t}{GI_p}\right]ds, \end{aligned}\right\}$$

en faisant passer dans le second membre les travaux des forces élastiques.

C'est l'équation générale cherchée que, pour abréger, nous écrirons sous la forme :

$$\left.\begin{aligned} &\sum\mathcal{F}\lambda + \sum\mathcal{C}\varphi \qquad [1] \\ &= \int_0^{s_1}\left[\mathcal{N}\left(\frac{N}{E\Omega} - \delta\tau\right) + \mathcal{T}\frac{T\cos\alpha}{G\Omega} + \mathcal{M}\frac{M\sin\theta\sin(\theta+\beta)}{EI_x} + \mathcal{M}_t\frac{M_t}{GI_p}\right]ds, \end{aligned}\right\}$$

Autre forme de l'équation générale. — Le second membre peut être transformé de la manière suivante :

Soient, dans une section quelconque (X) :

$\mathcal{T}_\xi$, $\mathcal{T}_\eta$, les composantes de $\mathcal{T}$, suivant les deux axes principaux d'inertie $G\xi$, $G\eta$ de cette section,

T_ξ, T_η, les composantes de T suivant les mêmes axes.

Le glissement relatif $\frac{T}{G\Omega}\,ds$ de la section (X) par rapport à la section infiniment voisine (X′) peut être considéré comme composé de deux glissements $\frac{T_\xi}{G\Omega}\,ds$, $\frac{T_\eta}{G\Omega}\,ds$ respectivement suivant $G\xi$ et $G\eta$.

Or, le travail de $\mathcal{T}$ pour le déplacement virtuel $\frac{T}{G\Omega}\,ds$ est égal à la somme des travaux de ses composantes $\mathcal{T}_\xi$ et $\mathcal{T}_\eta$; donc

$$\mathcal{T}\frac{T\cos\alpha}{G\Omega}\,ds = \mathcal{T}_\xi\frac{T_\xi}{G\Omega}\,ds + \mathcal{T}_\eta\frac{T_\eta}{G\Omega}\,ds. \qquad (a)$$

D'autre part, soient :

$\mathcal{M}_\xi$, $\mathcal{M}_\eta$, les axes représentatifs, dirigés suivant $G\xi$ et $G\eta$, des deux couples obtenus en décomposant le couple $\mathcal{M}$ en deux

autres situés dans deux plans respectivement normaux à $G\xi$ et $G\eta$ ($\mathfrak{M}_\xi$ et $\mathfrak{M}_\eta$ sont, par suite, les sommes des moments des forces et couples auxiliaires appliqués à gauche de la section (X) respectivement par rapport à $G\xi$ et $G\eta$);

M_ξ, M_η, les axes représentatifs analogues résultant de la même décomposition opérée sur le couple M;

I_ξ, I_η, les moments d'inertie principaux de la section (X).

La rotation relative $\frac{M \sin\theta}{EI_x} ds$ de la section (X) par rapport à la section infiniment voisine (X'), — rotation qui a lieu autour de l'axe Gx de la flexion simple, — peut être considérée comme composée de deux rotations $\frac{M_\xi}{EI_\xi} ds$ et $\frac{M_\eta}{EI_\eta} ds$, respectivement autour de $G\xi$ et de $G\eta$.

Or, le travail du couple $\mathfrak{M}$, pour le déplacement virtuel de rotation $\frac{M \sin\theta}{EI_x} ds$ est égal à la somme des travaux de ses deux couples composants $\mathfrak{M}_\xi$ et $\mathfrak{M}_\eta$; donc

$$\mathfrak{M} \frac{M \sin\theta \sin(\theta + \beta)}{EI_x} ds = \mathfrak{M}_\xi \frac{M_\xi}{EI_\xi} ds + \mathfrak{M}_\eta \frac{M_\eta}{EI_\eta} ds. \qquad (b)$$

Par conséquent, l'équation générale de l'élasticité peut, à cause des relations (a) et (b), s'écrire sous la nouvelle forme

$$\left.\begin{aligned} &\sum \mathfrak{F}\lambda + \sum \mathfrak{C}\varphi \\ &= \int_0^{l} \left[\mathfrak{N}\left(\frac{N}{E\Omega} - \delta\tau\right) + \mathfrak{T}_\xi \frac{T_\xi}{G\Omega} + \mathfrak{T}_\eta \frac{T_\eta}{G\Omega} + \mathfrak{M}_\xi \frac{M_\xi}{EI_\xi} + \mathfrak{M}_\eta \frac{M_\eta}{EI_\eta} + \mathfrak{M}_t \frac{M_t}{GI_p} \right] ds, \end{aligned}\right\} \quad [1']$$

qui est avantageuse dans certaines applications.

3. — Remarques.

1° Le déplacement projeté λ doit être considéré comme positif, s'il est de même sens que la force auxiliaire $\mathfrak{F}$ correspondante, et comme négatif, s'il est de sens contraire.

De même, la rotation projetée φ doit être considérée comme

positive, si elle est de même sens que le couple auxiliaire $\mathcal{C}$ correspondant, et comme négative dans le cas contraire; ou, pour parler en termes plus précis : la projection φ de l'axe représentatif de la rotation absolue d'une section, sur la direction R donnée, doit être considérée comme positive, si elle est de même sens que l'axe représentatif du couple auxiliaire $\mathcal{C}$ correspondant, axe dont la direction est également R; et comme négative, si elle est de sens contraire;

2° $\mathfrak{N}$, $\mathfrak{T}$, $\mathfrak{M}$, $\mathfrak{M}_t$ sont des fonctions linéaires et homogènes, — d'ailleurs faciles à déterminer par la Statique pure, — des forces auxiliaires $\mathcal{F}_1$, $\mathcal{F}_2$, $\mathcal{F}_3$... et des couples auxiliaires $\mathcal{C}_1$, $\mathcal{C}_2$, $\mathcal{C}_3$...; l'équation générale est donc elle-même linéaire et homogène en $\mathcal{F}_1$, $\mathcal{F}_2$, $\mathcal{F}_3$..., $\mathcal{C}_1$, $\mathcal{C}_2$, $\mathcal{C}_3$...;

3° L'équation générale contient autant d'équations distinctes entre les déplacements linéaires absolus projetés λ_1, λ_2, λ_3... et les rotations absolues projetées φ_1, φ_2, φ_3... qu'il existe de systèmes distincts de forces auxiliaires $\mathcal{F}_1$, $\mathcal{F}_2$, $\mathcal{F}_3$... et de couples auxiliaires $\mathcal{C}_1$, $\mathcal{C}_2$, $\mathcal{C}_3$..., satisfaisant aux six conditions générales d'équilibre; ceci n'est vrai toutefois que sous réserve de ne pas considérer comme distincts les systèmes homothétiques : effectivement deux pareils systèmes étant constitués de forces et de couples proportionnels, conduisent à deux équations identiques, puisque l'équation générale est homogène relativement à ces forces et couples.

4. — Extension de l'équation générale, aux constructions formées de pièces a fibres moyennes planes ou gauches, assemblées entre elles d'une manière quelconque.

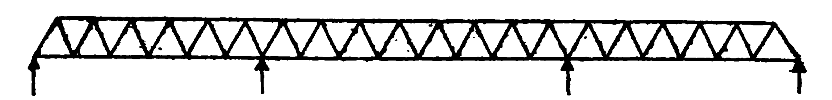
Un système de pièces est dit *isostatique*, lorsque les réactions de ses appuis et les réactions mutuelles des pièces qui le composent peuvent se déterminer par la Statique pure. Il est dit *hyperstatique* dans le cas contraire.

Un système peut être hyperstatique de plusieurs manières différentes :

1° Si les réactions de ses appuis sont statiquement indéterminées, mais que les réactions mutuelles de ses diverses pièces constitutives puissent s'exprimer, au moyen de la Statique pure,

en fonction des réactions des appuis, nous dirons que le système est *extérieurement* hyperstatique, ou encore qu'il est à *liaisons*

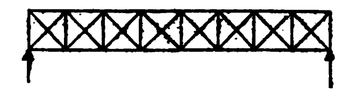
Fig. 3



extérieures surabondantes; exemple : une poutre droite à treillis simples à nœuds articulés, reposant sur plus de deux appuis *(fig. 3)*;

2° Si les réactions de ses appuis sont statiquement déterminées, mais que les réactions mutuelles de ses diverses pièces soient au contraire indéterminées, nous dirons que le système

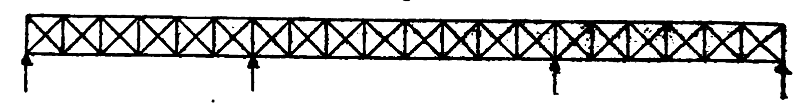
Fig. 4



est *intérieurement* hyperstatique ou encore qu'il est à *liaisons intérieures surabondantes;* exemple : une poutre droite à treillis double reposant sur deux appuis simples *(fig. 4)*;

3° Si les réactions des appuis du système sont statiquement indéterminées, et que les réactions mutuelles des diverses pièces qui le composent ne puissent s'exprimer en fonction de ces réactions, au moyen de la Statique pure, nous dirons que le

Fig. 5



système est *extérieurement et intérieurement* hyperstatique; ou encore qu'il est à *liaisons extérieures et intérieures surabondantes;* exemple : une poutre droite à treillis double reposant sur plus de deux appuis *(fig. 5)*.

Considérons un système *extérieurement et intérieurement hyperstatique;* c'est le cas le plus complexe, et les raisonnements qui vont suivre s'appliquent sans modification aux systèmes extérieurement hyperstatiques, ou intérieurement hyperstatiques, comme aussi aux systèmes isostatiques.

Le système en question est soumis à des forces extérieures F quelconques et à une variation de température de τ degrés comptée à partir de la température de pose sur les appuis.

Sous ces actions il se produit, en toute section (X) d'une pièce quelconque du système, des forces élastiques réductibles, ainsi qu'il a été dit au n° 2, à N, T, M et M_t.

Sous ces mêmes actions, le système se déforme : tout point de l'une quelconque de ses pièces prend un déplacement linéaire absolu et toute section d'une pièce quelconque prend un déplacement absolu de rotation.

Soient, comme au n° 2:

1° $D_1, \quad D_2, \quad D_3 \ldots,$

des points arbitrairement choisis, appartenant à une même pièce du système ou à des pièces différentes;

$$\lambda_1, \quad \lambda_2, \quad \lambda_3 \ldots,$$

les projections des déplacements absolus de ces points sur des directions données

$$Q_1, \quad Q_2, \quad Q_3 \ldots;$$

2° $(X_1), \quad (X_2), \quad (X_3) \ldots,$

des sections arbitrairement choisies, appartenant à une même pièce du système ou à des pièces différentes;

$$\varphi_1, \quad \varphi_2, \quad \varphi_3 \ldots,$$

les projections des axes représentatifs des rotations absolues de ces sections, sur des directions données

$$R_1, \quad R_2, \quad R_3 \ldots$$

L'équation générale à établir est, comme au n° 2, celle qui existe entre les déplacements linéaires absolus projetés $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3 \ldots,$ et les rotations absolues projetées $\varphi_1, \varphi_2, \rho_3 \ldots$ La méthode à

suivre est, dans son ensemble, exactement celle précédemment exposée pour le cas d'une pièce unique.

Ramenons donc le système à sa température de pose sur appuis et supprimons les forces F ainsi que les appuis. En outre, — et c'est là un point essentiel — le système étant, par hypothèse, intérieurement hyperstatique, c'est-à-dire à liaisons intérieures surabondantes, *rendons-le isostatique en y supprimant le nombre de liaisons intérieures nécessaire et suffisant à cet effet ;* ce qu'on réalisera, suivant le cas, soit en supprimant totalement diverses pièces du système (barres surabondantes), soit en remplaçant les assemblages rigides par des assemblages articulés, soit encore en coupant certaines pièces du système aux points où elles prennent appui sur d'autres pièces.

Puis, sur le système ainsi rendu isostatique, appliquons comme au n° 2 aux points

$$D_1, \quad D_2, \quad D_3 \ldots,$$

des forces *auxiliaires*

$$\mathfrak{F}_1, \quad \mathfrak{F}_2, \quad \mathfrak{F}_3 \ldots,$$

suivant les directions

$$Q_1, \quad Q_2, \quad Q_3 \ldots,$$

et aux sections

$$(X_1), \quad (X_2), \quad (X_3) \ldots,$$

des couples *auxiliaires*

$$\mathcal{C}_1, \quad \mathcal{C}_2, \quad \mathcal{C}_3 \ldots,$$

d'axes dirigés suivant

$$R_1, \quad R_2, \quad R_3 \ldots,$$

forces auxiliaires et couples auxiliaires astreints à satisfaire aux six conditions générales d'équilibre.

Cela posé, appliquons le principe des vitesses virtuelles au système rendu isostatique comme il vient d'être dit, et qui est en équilibre sous l'action :

1° Des forces auxiliaires $\mathfrak{F}_1$, $\mathfrak{F}_2$, $\mathfrak{F}_3$... et des couples auxiliaires $\mathcal{C}_1$, $\mathcal{C}_2$, $\mathcal{C}_3$...;

2° Des forces intérieures ou élastiques développées par ces forces et couples auxiliaires; forces élastiques qui, en toute section (X) d'une pièce quelconque du système sont réductibles à $\mathfrak{N}$, $\mathfrak{T}$, $\mathfrak{M}$ et $\mathfrak{M}_t$.

Nous pouvons prendre comme déplacements virtuels, les déplacements réels subis par les divers points du système hyperstatique donné, dans sa déformation élastique sous l'action des forces F et de la variation de température τ; ces déplacements réels sont, en effet, compatibles avec les liaisons du système isostatique actuellement considéré, puisque les dites liaisons appartiennent également au système hyperstatique donné.

Or, il est clair que, dans ces conditions :

1° La somme des travaux virtuels des forces et couples auxiliaires a la même expression que dans le cas d'une pièce unique (n° 2), savoir :

$$\mathfrak{F}_1\lambda_1 + \mathfrak{F}_2\lambda_2 + \mathfrak{F}_3\lambda_3 + \dots \mathfrak{C}_1\varphi_1 + \mathfrak{C}_2\varphi_2 + \mathfrak{C}_3\varphi_3 \dots,$$

ou, pour abréger,

$$\sum \mathfrak{F}\lambda + \sum \mathfrak{C}\varphi;$$

2° La somme des travaux virtuels des forces élastiques pour une pièce quelconque du système, conserve également la même expression qu'au n° 2, de sorte que, pour l'ensemble des *n* pièces constituant le système isostatique, la somme des travaux virtuels est

$$-\sum_1^n \int_0^{s} \left[\mathfrak{N}\left(\frac{N}{E\Omega} - \delta\tau\right) + \mathfrak{T}\frac{T\cos\alpha}{G\Omega} + \mathfrak{M}\frac{M\sin\theta\sin(\theta+\beta)}{EI_x} + \mathfrak{M}_t\frac{M_t}{GI_p} \right] ds.$$

Le principe des vitesses virtuelles donne donc

$$\left.\begin{aligned} &\sum \mathfrak{F}\lambda + \sum \mathfrak{C}\varphi \qquad [2] \\ &= \sum_1^n \int_0^{s} \left[\mathfrak{N}\left(\frac{N}{E\Omega} - \delta\tau\right) + \mathfrak{T}\frac{T\cos\alpha}{G\Omega} + \mathfrak{M}\frac{M\sin\theta\sin(\theta+\beta)}{EI_x} + \mathfrak{M}_t\frac{M_t}{GI_p} \right] ds \end{aligned}\right\};$$

C'est l'équation générale de l'élasticité des constructions sous sa forme complète.

Les remarques du n° 3 s'y appliquent. Il convient d'ailleurs

d'insister ici sur ce point essentiel que *les quantités* $\mathfrak{N}$, $\mathfrak{T}$, $\mathfrak{M}$ et $\mathfrak{M}_t$ *s'obtiennent par la Statique pure.*

En vertu de ce qui a été dit à la fin du n° 2 on peut également écrire :

$$\left.\begin{aligned}&\sum \mathcal{F}\lambda + \sum \mathcal{C}\varphi \qquad [2]\\ &= \sum_1^n \int_0^s \left[\mathfrak{N}\left(\frac{N}{E\Omega} - \delta\tau\right) - \mathfrak{T}_\xi \frac{T_\xi}{G\Omega} + \mathfrak{T}_\eta \frac{T_\eta}{G\Omega} + \mathfrak{M}_\xi \frac{M_\xi}{EI_\xi} + \mathfrak{M}_\eta \frac{M_\eta}{EI_\eta} + \mathfrak{M}_t \frac{M_t}{GI_p}\right] ds.\end{aligned}\right\}$$

Examinons maintenant les simplifications que subit l'équation générale dans les cas particuliers les plus usuels.

5. — Cas d'une pièce unique soumise a la flexion plane.

On sait qu'une pièce est soumise à la flexion plane lorsque les conditions suivantes sont remplies :

1° La fibre moyenne est une courbe plane;

2° La pièce est de structure symétrique par rapport au plan de ladite fibre;

3° Les forces extérieures F sollicitant la pièce sont situées dans ce plan.

On sait également que, dans ce cas :

1° Les forces élastiques développées en toute section (X) *(fig. 1 bis)* sont réductibles à N, T et M (le couple de torsion M_t est nul) et l'axe du couple de flexion M est la normale menée au plan de la fibre moyenne par le centre de gravité de la section ;

2° L'axe Gx de la flexion simple se confond avec cette même normale, de sorte que $\theta = 90$ degrés;

3° Le déplacement absolu de tout point de la fibre moyenne a lieu dans le plan de cette fibre et l'axe de la rotation absolue de toute section est normal à ce même plan.

Appliquons l'équation générale [1] du n° 2 dans les conditions suivantes :

1° Nous plaçons dans le plan de la fibre moyenne *(fig. 1)* les droites Q_1, Q_2, Q_3..., sur lesquelles sont effectuées les projections λ_1, λ_2, λ_3... des déplacements absolus des points D_1, D_2, D_3...;

2° Nous dirigeons normalement à ce même plan les droites R_1, R_2, R_3..., sur lesquelles sont effectuées les projections φ_1, φ_2, φ_3... des axes représentatifs des rotations absolues des sections (X_1), (X_2), (X_3)..., de sorte que φ_1, φ_2, φ_3... sont les vraies grandeurs de ces rotations absolues.

Par conséquent, les forces auxiliaires $\mathcal{F}_1$, $\mathcal{F}_2$, $\mathcal{F}_3$... (*fig.* 2), qui doivent être appliquées suivant Q_1, Q_2, Q_3..., sont dans le plan de la fibre moyenne et les couples auxiliaires, dont les axes doivent être dirigés suivant R_1, R_2, R_3..., sont également dans ce plan. Les forces élastiques développées par ce système de forces et couples auxiliaires, en toute section (X) (*fig.* 2 *bis*), sont réductibles à $\mathcal{N}$, $\mathcal{T}$ et $\mathcal{M}$; en outre, $\mathcal{T}$ a même direction que T, tandis que l'axe du couple $\mathcal{M}$ a même direction que l'axe du couple M, de sorte $\alpha = 0$ et $\beta = 0$.

L'équation générale [1] se réduit donc à

$$\sum \mathcal{F}\lambda + \sum \mathcal{C}\varphi = \int_0^s \left[\mathcal{N}\left(\frac{N}{E\Omega} - \delta\tau\right) + \mathcal{T}\frac{T}{G\Omega} + \mathcal{M}\frac{M}{EI}\right] ds. \quad [1\ bis]$$

6. — Cas d'une construction formée de pièces soumises à la flexion plane.

Si la construction admet un plan de symétrie et si les forces qui la sollicitent sont situées dans ce plan, toutes les pièces la composant sont soumises à la flexion plane ; par conséquent, d'après ce qui vient d'être dit au n° 5, l'équation générale [2] du n° 4 se réduit à

$$\sum \mathcal{F}\lambda + \sum \mathcal{C}\varphi = \sum_1^n \int_0^s \left[\mathcal{N}\left(\frac{N}{E\Omega} - \delta\tau\right) + \mathcal{T}\frac{T}{G\Omega} + \mathcal{M}\frac{M}{EI}\right] ds. \quad [2\ bis]$$

7. — Cas d'un système articulé.

Les barres du système sont rectilignes et de section constante. Les forces extérieures F sont appliquées exclusivement aux nœuds d'articulation et, par suite, ne produisent, comme du

reste les variations de température, aucune flexion ni torsion des barres, de sorte que

$$\mathrm{T} = 0, \qquad \mathrm{M} = 0, \qquad \mathrm{M}_t = 0.$$

Les seuls déplacements élastiques utiles à considérer sont les déplacements linéaires absolus projetés des nœuds de la construction; d'où il résulte que

1° Dans l'équation générale, le terme $\Sigma \mathcal{C}\varphi$ disparait;

2° Les forces auxiliaires $\mathcal{F}$ doivent être appliquées exclusivement à des nœuds de la construction (ceux dont on veut envisager les déplacements absolus projetés) et ne produisent, dès lors, aucune flexion ni torsion des barres, de sorte que

$$\mathcal{T} = 0, \qquad \mathfrak{M} = 0, \qquad \mathfrak{M}_t = 0.$$

L'équation générale [2] du n° 4 se réduit donc à

$$\sum \mathcal{F}\lambda = \sum_1^n \int_0^s \mathfrak{N}\left(\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{E}\Omega} - \delta\tau\right) ds;$$

ou, en remarquant que tout le long d'une même barre N, $\mathfrak{N}$ et Ω sont constants et en appelant s la longueur d'une barre quelconque,

$$\sum \mathcal{F}\lambda = \sum_1^n \mathfrak{N}\left(\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{E}\Omega} - \delta\tau\right) s. \qquad [2\ ter]$$

On peut encore écrire

$$\sum \mathcal{F}\lambda = \sum_1^n \mathfrak{N}\frac{\mathrm{N}s}{\mathrm{E}\Omega} - \delta\tau \sum_1^n \mathfrak{N}s,$$

si l'on veut séparer l'effet des forces extérieures et celui de la variation de température.

On remarquera que les valeurs des compressions ou tension $\mathfrak{N}$ développées par les forces auxiliaires $\mathcal{F}$ dans les barres du système rendu isostatique (s'il ne l'est déjà) par la suppression des barres surabondantes, peuvent s'obtenir très facilement au moyen d'une épure de Cremona.

Il en est de même des valeurs de N, si le système donné est isostatique.

CHAPITRE II

Application de l'équation générale de l'élasticité des constructions, au calcul des déplacements élastiques absolus dans les pièces à fibre moyenne plane ou gauche.

8. — Exposé de la méthode.

De l'équation générale de l'élasticité des constructions découle immédiatement une méthode de calcul des déplacements élastiques absolus; nous allons l'exposer pour le cas de la flexion plane, mais elle s'applique sans modification à tous les autres cas.

Soit donc une pièce à fibre moyenne plane, de structure symétrique par rapport au plan de cette fibre, soumise à des forces F situées dans ce même plan, et possédant un nombre quelconque d'appuis simples, à rotule, ou à encastrement.

Nous supposons connus, en toute section de la pièce : la compression normale N, l'effort tranchant T et le moment de flexion M dus aux forces F, ainsi qu'à une variation de température de τ degrés mesurée à partir de la température de pose sur les appuis. Nous nous proposons de calculer : (*a*) la projection λ du déplacement absolu d'un point quelconque D de la pièce, sur une direction Q arbitrairement choisie dans le plan de la fibre moyenne; (*b*) la rotation absolue φ d'une section quelconque (X) autour de l'axe mené par son centre de gravité normalement au plan de la fibre moyenne.

(*a*) *Déplacement absolu projeté* λ. — Pour obtenir l'expression de ce déplacement au moyen de l'équation générale [1 *bis*] du n° 5, il suffit de choisir comme suit le système des forces et couples auxiliaires :

La pièce étant ramenée à sa température de pose, et les forces F étant supprimées ainsi que les appuis, appliquons :

1° Au point D, une force auxiliaire $\mathfrak{F}$, de direction Q;

2° Aux points de la pièce correspondant aux appuis supprimés (ou à un certain nombre de ces points seulement), et dans le plan de la fibre moyenne, des forces auxiliaires $\mathfrak{F}_1$, $\mathfrak{F}_2$... de direction arbitraire pour les points correspondant aux appuis a rotule ou à encastrement et de direction normale à la droite d'appui (*) pour les points correspondant aux appuis simples;

3° Aux sections correspondant aux appuis à encastrement (ou à un certain nombre de ces sections seulement), des couples auxiliaires $\mathcal{C}_1$, $\mathcal{C}_2$... d'axe normal au plan de la fibre moyenne.

Ces forces et couples auxiliaires doivent, pour la validité de l'équation générale former un système en équilibre, ce qui est d'ailleurs toujours facilement réalisable.

Dans ces conditions, la dite équation s'écrit

$$\left.\begin{aligned}&\mathfrak{F}\lambda + \mathfrak{F}_1\lambda_1 + \mathfrak{F}_2\lambda_2 + \dots \mathcal{C}_1\varphi_1 + \mathcal{C}_2\varphi_2 + \dots\\ &= \int_0^s \left[\mathfrak{N}\left(\frac{N}{E\Omega} - \delta\tau\right) + \mathfrak{T}\frac{T}{G\Omega} + \mathfrak{M}\frac{M}{EI}\right] ds.\end{aligned}\right\}$$

Or, les déplacements $\lambda_1, \lambda_2 \dots \varphi_1, \varphi_2 \dots$ sont nuls, attendu que, dans la pièce donnée, soumise aux forces F ainsi qu'à la variation de température, et reposant sur ses appuis :

1° Les déplacements des points correspondant aux appuis à rotule et aux appuis à encastrement sont nuls;

2° Les déplacements des points correspondant aux appuis simples ont une projection nulle sur la normale à la droite d'appui, c'est-à-dire sur la direction de la force auxiliaire correspondante;

3° Les sections d'encastrement ne prennent aucun déplacement de rotation.

Le premier membre de l'équation générale se réduit donc à $\mathfrak{F}\lambda$ et, par suite :

$$\lambda = \frac{1}{\mathfrak{F}} \int_0^s \left[\mathfrak{N}\left(\frac{N}{E\Omega} - \delta\tau\right) + \mathfrak{T}\frac{T}{G\Omega} + \mathfrak{M}\frac{M}{EI}\right] ds. \qquad [3]$$

(*) Comme on le sait, un appui simple astreint un point de la fibre moyenne à rester sur une droite du plan de cette fibre; cette droite est la *droite d'appui*.

Il faut se rappeler que, dans cette formule, $\mathfrak{N}$, $\mathfrak{T}$ et $\mathfrak{M}$ sont la compression normale, l'effort tranchant et le moment de flexion produits en toute section de la pièce, par le système de forces et couples auxiliaires en équilibre, défini plus haut.

(b) Rotation absolue φ. — Le système de forces et couples auxiliaires à considérer pour la détermination de la rotation absolue φ d'une section quelconque (X) se compose :

1° D'un couple $\mathcal{C}$ appliqué à la section (X) et d'axe normal au plan de la fibre moyenne;

2° De forces $\mathcal{F}_1$, $\mathcal{F}_2$... et de couples $\mathcal{C}_1$, $\mathcal{C}_2$... appliqués dans les conditions indiquées ci-dessus pour le calcul de λ.

Ce système doit, bien entendu, être en équilibre.

Pour les raisons déjà invoquées précédemment, le premier membre de l'équation générale [1 *bis*] se réduit ici à $\mathcal{C}\varphi$ et cette équation donne, par suite, pour l'expression cherchée de φ :

$$\varphi = \frac{1}{\mathcal{C}} \int_0^s \left[\mathfrak{N}\left(\frac{N}{E\Omega} - \delta\tau\right) + \mathfrak{T}\,\frac{T}{G\Omega} + \mathfrak{M}\frac{M}{EI}\right] ds. \qquad [4]$$

Nous allons appliquer les formules [3] et [4] aux divers cas qui peuvent se présenter et qui sont au nombre de trois seulement.

9. — Premier cas. — Parmi les appuis de la pièce, il y en a au moins un (A_e) a encastrement *(fig. 6)*.

Les autres appuis ne sont pas représentés sur la figure ni les forces F sollicitant la pièce.

(a) Déplacement absolu projeté λ. — Soit D le point dont nous nous proposons de déterminer le déplacement projeté λ sur une direction Q arbitrairement choisie.

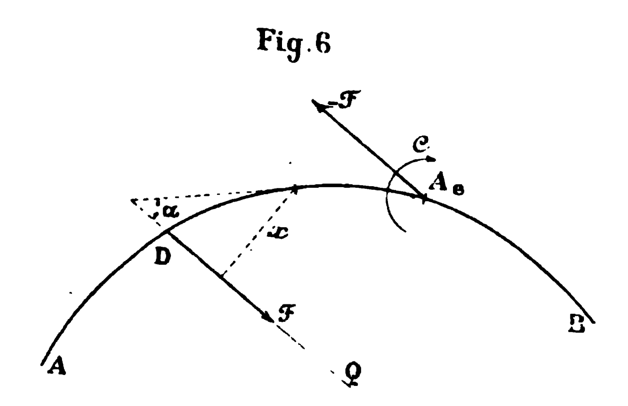
Conformément à la méthode exposée précédemment, la pièce étant ramenée à sa température de pose et les forces F supprimées ainsi que les appuis, prenons comme système de forces et couples auxiliaires en équilibre :

1° Une force $\mathcal{F}$ de direction Q, appliquée en D;

2° Une force $-\mathcal{F}$ égale, parallèle et de sens contraire à $\mathcal{F}$, appliquée au centre de gravité de la section d'encastrement (A_e);

3° Un couple $\mathcal{C}$ appliqué à la section (A_e) et égal et de sens contraire au couple formé par les deux forces $\mathcal{F}$ et $-\mathcal{F}$.

Fig. 6



La compression normale $\mathcal{N}$, l'effort tranchant $\mathcal{T}$ et le moment de flexion $\mathcal{M}$ développés par ce système de forces et couples auxiliaires, ont pour valeurs, les notations étant celles inscrites sur la figure 6 :

1° En toute section comprise entre A et D ainsi qu'entre A_e et B,

$$\mathcal{N} = 0, \qquad \mathcal{T} = 0, \qquad \mathcal{M} = 0,$$

2° En toute section comprise entre D et A_e,

$$\mathcal{N} = \mathcal{F} \cos \alpha, \qquad \mathcal{T} = -\mathcal{F} \sin \alpha, \qquad \mathcal{M} = -\mathcal{F}x.$$

En substituant ces valeurs dans la formule [3] du n° 8, on trouve

$$\lambda = \int_D^{A_e} \left[\left(\frac{N}{E\Omega} - \delta\tau\right) \cos \alpha - \frac{T \sin \alpha}{G\Omega} - \frac{Mx}{EI}\right] ds.$$

(*b*) ***Rotation absolue*** φ. — Soit (*fig.* 7) (X) la section dont on se propose de calculer la rotation absolue φ.

Prenons comme système de forces et couples auxiliaires en équilibre :

1° Un couple $\mathcal{C}$ appliqué à la section (X);

2° Un couple — $\mathcal{C}$, égal et contraire à $\mathcal{C}$, appliqué à la section (A_e).

Les valeurs de $\mathfrak{N}$, $\mathfrak{T}$ et $\mathfrak{M}$ correspondantes sont :

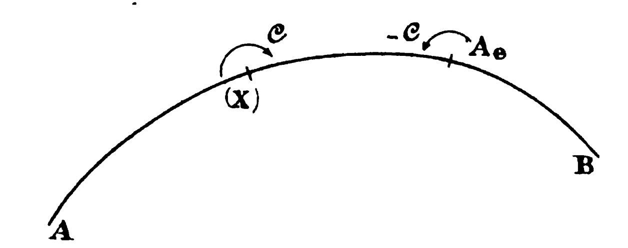
1° En toute section comprise entre A et (X) ainsi qu'entre (A_e) et B :

$$\mathfrak{N} = 0, \qquad \mathfrak{T} = 0, \qquad \mathfrak{M} = 0;$$

2° En toute section comprise entre (X) et (A_e),

$$\mathfrak{N} = 0, \qquad \mathfrak{T} = 0, \qquad \mathfrak{M} = \mathcal{C}.$$

Fig.7



La substitution de ces valeurs dans la formule [4] du n° 8, donne

$$\varphi = \int_{(X)}^{(Ae)} \frac{M}{EI} ds.$$

10. — Deuxième cas. — Parmi les appuis, il y en a au moins deux à rotule $(A_r)_1$ et $(A_r)_2$ *(fig. 8)*.

Les autres appuis ne sont pas représentés sur la figure ni les forces F.

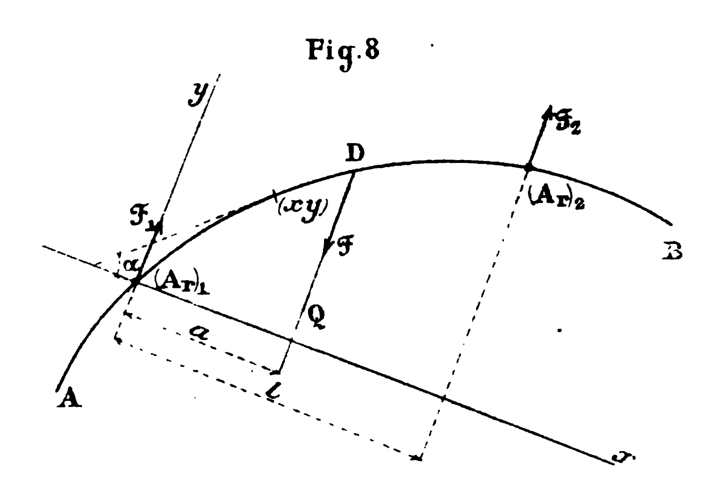
(a) Déplacement absolu projeté λ. — Le point D dont nous nous proposons de calculer le déplacement absolu projeté λ sur une direction Q arbitrairement choisie, est supposé situé entre $(A_r)_1$ et $(A_r)_2$; le calcul de λ se ferait, du reste, de la même manière si D était entre A et $(A_r)_1$ ou entre $(A_r)_2$ et B.

Adoptons comme système de forces et couples auxiliaires en équilibre :

1° Une force $\mathfrak{F}$ de direction Q appliquée en D;

2° Deux forces $\mathfrak{F}_1$, $\mathfrak{F}_2$, parallèles à $\mathfrak{F}$, appliquées respectivement

Fig. 8



en $(A_r)_1$ et $(A_r)_2$, et faisant équilibre à $\mathfrak{F}$ de sorte qu'elles ont pour valeurs absolues, les notations étant celles de la figure 8,

$$\mathfrak{F}_1 = \frac{\mathfrak{F}(l-a)}{l}, \qquad \mathfrak{F}_2 = \frac{\mathfrak{F}a}{l}.$$

Les valeurs de la compression normale $\mathfrak{N}$, de l'effort tranchant $\mathfrak{T}$ et du moment de flexion $\mathfrak{M}$ développés dans la pièce par le système $\mathfrak{F}$, $\mathfrak{F}_1$, $\mathfrak{F}_2$, sont les suivantes :

1° En toute section comprise entre A et $(A_r)_1$ et entre $(A_r)_2$ et B :

$$\mathfrak{N} = 0, \qquad \mathfrak{T} = 0, \qquad \mathfrak{M} = 0;$$

2° En toute section comprise entre $(A_r)_1$ et D,

$$\mathfrak{N} = \mathfrak{F}_1 \sin\alpha, \qquad \mathfrak{T} = \mathfrak{F}_1 \cos\alpha, \qquad \mathfrak{M} = \mathfrak{F}_1 x;$$

3° En toute section comprise entre D et $(A_r)_2$,

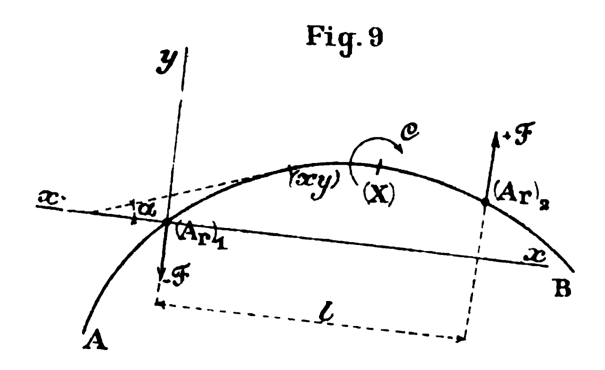
$$\mathfrak{N} = -\mathfrak{F}_2 \sin\alpha, \qquad \mathfrak{T} = -\mathfrak{F}_2 \cos\alpha, \qquad \mathfrak{M} = \mathfrak{F}_2(l-x).$$

En substituant ces valeurs dans la formule [3] du n° 8, et en tenant compte des expressions ci-dessus de $\mathfrak{F}_1$ et de $\mathfrak{F}_2$, on trouve

$$\left.\begin{aligned}\lambda = \frac{l-a}{l}\int_{(A_r)_1}^{D}\left[\left(\frac{N}{E\Omega}-\delta\tau\right)\sin\alpha+\frac{T\cos\alpha}{G\Omega}+\frac{Mx}{EI}\right]ds \\ +\frac{a}{l}\int_{D}^{(A_r)_2}\left[-\left(\frac{N}{E\Omega}-\delta\tau\right)\sin\alpha-\frac{T\cos\alpha}{G\Omega}+\frac{M(l-x)}{EI}\right]ds.\end{aligned}\right\}$$

(*b*) ***Rotation absolue*** φ. — Nous supposerons que la section (X) dont on se propose de calculer la rotation absolue φ est située entre $(A_r)_1$ et $(A_r)_2$ (*fig. 9*) ; le calcul de φ se ferait, du reste, de la même manière si (X) était entre A et $(A_r)_1$ ou entre $(A_r)_2$ et B.

Fig. 9



Adoptons comme système de forces et couples auxiliaires en équilibre :

1° Un couple $\mathfrak{C}$ appliqué à la section (X) ;

2° Deux forces parallèles $-\mathfrak{F}$ et $+\mathfrak{F}$, de direction quelconque, et appliquées respectivement aux points $(A_r)_1$ et $(A_r)_2$ et formant un couple égal et contraire à $\mathfrak{C}$, de sorte que $\mathfrak{F} = \frac{\mathfrak{C}}{l}$.

Les valeurs de $\mathfrak{N}$, $\mathfrak{T}$ et $\mathfrak{M}$ correspondant à ce système de forces et couples auxiliaires, sont les suivantes :

1° En toute section comprise entre A et $(A_r)_1$ et entre $(A_r)_2$ et B,

$$\mathfrak{N} = 0, \qquad \mathfrak{T} = 0, \qquad \mathfrak{M} = 0;$$

2° En toute section comprise entre $(A_r)_1$ et (X),

$$\mathfrak{N} = -\frac{\mathfrak{C}\sin\alpha}{l}, \qquad \mathfrak{T} = -\frac{\mathfrak{C}\cos\alpha}{l}, \qquad \mathfrak{M} = -\frac{\mathfrak{C}x}{l};$$

3° En toute section comprise entre (X) et $(A_r)_2$,

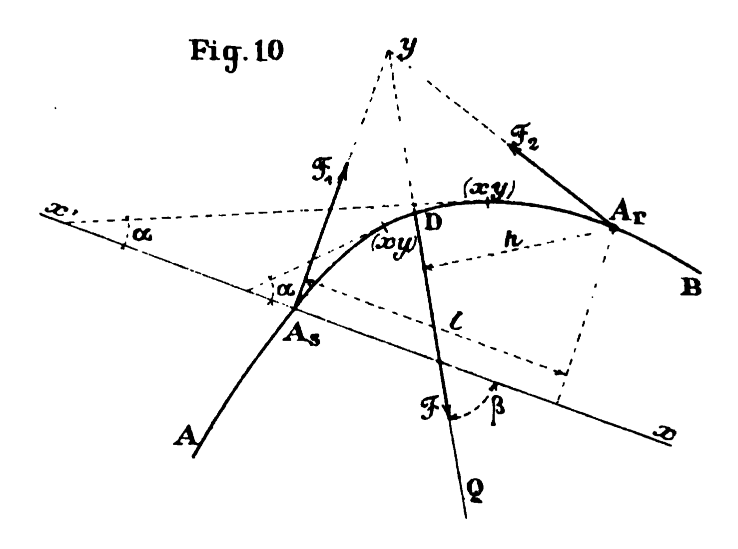
$$\mathfrak{N} = -\frac{\mathfrak{C}\sin\alpha}{l}, \qquad \mathfrak{T} = -\frac{\mathfrak{C}\cos\alpha}{l}, \qquad \mathfrak{M} = -\frac{\mathfrak{C}x}{l} + \mathfrak{C};$$

Substituant ces valeurs dans la formule [4] du n° 8, il vient

$$\varphi = -\frac{1}{l}\int_{(A_r)_1}^{(A_r)_2}\left[\left(\frac{N}{E\Omega} - \delta\tau\right)\sin\alpha + \frac{T\cos\alpha}{G\Omega} + \frac{Mx}{EI}\right]ds + \int_{(X)}^{(A_r)_2}\frac{M}{EI}ds.$$

11. — Troisième Cas. — Parmi les appuis il en existe au moins un simple A_s et un a rotule A_r *(fig. 10)*.

Les autres appuis ne sont pas représentés sur la figure, ni les forces F.



(a) Déplacement absolu projeté λ. — Soit D le point dont on se propose de déterminer le déplacement absolu projeté λ sur une

direction Q arbitrairement choisie. Le système de forces et couples auxiliaires à considérer est le suivant :

1° Une force $\mathfrak{F}$, de direction Q, appliquée en D ;

2° Une force $\mathfrak{F}_1$ appliquée en A_s, normalement à la droite d'appui xx', et une force $\mathfrak{F}_2$ appliquée en A_r et concourante avec $\mathfrak{F}$ et $\mathfrak{F}_1$.

$\mathfrak{F}$, $\mathfrak{F}_1$ et $\mathfrak{F}_2$ devant se faire équilibre, on a, évidemment, les notations étant celles indiquées sur la figure,

$$\mathfrak{F}_1 = \frac{\mathfrak{F}h}{l};$$

quant à $\mathfrak{F}_2$, son expression nous est inutile.

Les valeurs de $\mathfrak{N}$, $\mathfrak{T}$ et $\mathfrak{M}$ correspondant à ce système de forces auxiliaires sont :

1° En toute section située entre A et A_s ainsi qu'entre A_r et B,

$$\mathfrak{N} = 0, \qquad \mathfrak{T} = 0, \qquad \mathfrak{M} = 0;$$

2° En toute section située entre A_s et D,

$$\mathfrak{N} = \mathfrak{F}_1 \sin\alpha, \qquad \mathfrak{T} = \mathfrak{F}_1 \cos\alpha, \qquad \mathfrak{M} = \mathfrak{F}_1 x;$$

3° En toute section comprise entre D et A_r,

$$\mathfrak{N} = \mathfrak{F}_1 \sin\alpha + \mathfrak{F}\cos(\alpha - \beta), \qquad \mathfrak{T} = \mathfrak{F}_1 \cos\alpha - \mathfrak{F}\sin(\alpha - \beta),$$

$$\mathfrak{M} = \mathfrak{F}_1 x - \mathfrak{F}z,$$

α désignant l'angle de la tangente à la fibre moyenne au point considéré, avec l'axe xx',

β l'angle de la direction positive de $\mathfrak{F}$ avec ce même axe (sur la figure cet angle est négatif),

x, l'abscisse du point considéré,

z la distance normale de ce même point à $\mathfrak{F}$.

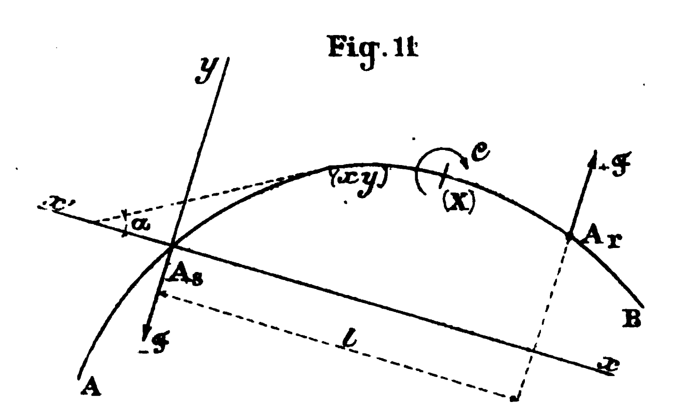
Substituant ces valeurs de $\mathfrak{N}$, $\mathfrak{T}$ et $\mathfrak{M}$ dans la formule [3] du n° 8 et tenant compte de l'expression ci-dessus de $\mathfrak{F}_1$, il vient

$$\left.\begin{aligned}\lambda = \frac{h}{l}\int_{A_s}^{A_r}\left[\left(\frac{N}{E\Omega} - \delta\tau\right)\sin\alpha + \frac{T\cos\alpha}{G\Omega} + \frac{Mx}{EI}\right]ds,\\ + \int_{D}^{A_r}\left[\left(\frac{N}{E\Omega} - \delta\tau\right)\cos(\alpha - \beta) - \frac{T\sin(\alpha - \beta)}{G\Omega} - \frac{Mz}{EI}\right]ds.\end{aligned}\right\}$$

Remarque. — Par des transformations très simples, il est facile de voir que, dans le cas où la direction Q suivant laquelle on veut évaluer le déplacement du point D est normale à la droite d'appui xx' (c'est-à-dire dans le cas où $\beta = -\frac{\pi}{2}$), la formule ci-dessus devient identique à celle trouvée au n° 10 (*a*).

(*b*) ***Rotation absolue*** φ. — Le système de forces et couples auxiliaires à considérer est le suivant (*fig. 11*) :

Fig. 11



1° Un couple $\mathfrak{C}$ appliqué à la section (X) dont on se propose de déterminer la rotation absolue φ ;

2° Deux forces parallèles entre elles $-\mathfrak{F}$ et $+\mathfrak{F}$, de direction normale à la droite d'appui xx', appliquées respectivement en A_s et en A_r et formant un couple égal et contraire à $\mathfrak{C}$, de sorte que $\mathfrak{F} = \frac{\mathfrak{C}}{l}$.

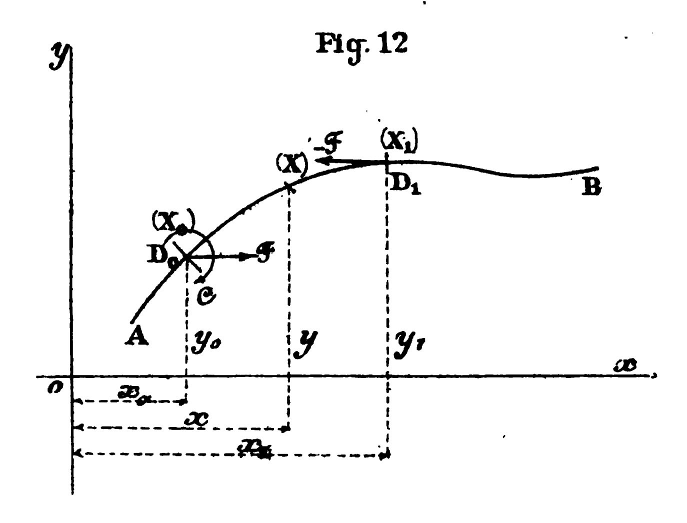
Ce système est identique à celui considéré au n° 10 (*b*) ; l'expression de φ trouvée à ce numéro, reste donc valable dans le cas actuel.

12. — Expressions classiques des déplacements élastiques absolus, dans les pièces soumises a la flexion plane.

Il nous paraît intéressant de montrer que ces expressions dérivent immédiatement de l'équation générale de l'élasticité.

Soient (*fig. 12*) :

AB une pièce à fibre moyenne plane, de structure symétrique



par rapport au plan de cette fibre, soumise à des forces F situées dans ce même plan, ainsi qu'à une variation τ de température, et possédant un nombre quelconque d'appuis simples, à rotule ou à encastrement (les forces F et les appuis ne sont pas représentés sur la figure) ;

ξ_0, η_0, les composantes, suivant *ox* et *oy*, du déplacement élastique absolu d'un point arbitrairement choisi D_0 de la pièce ;

φ_0 la rotation élastique absolue de la section (X_0) passant par D_0.

ξ_1, η_1, φ_1, les quantités similaires, relatives à un autre point arbitrairement choisi D_1 et à la section correspondante (X_1).

La compression normale N, l'effort tranchant T et le moment de flexion M développés en toute section de la pièce, étant supposés connus, ainsi que les trois quantités ξ_0, η_0, φ_0, il s'agit de calculer ξ_1, η_1 et φ_1.

(*a*) *Expression de* ξ_1. — La pièce étant ramenée à sa température de pose, et les forces F supprimées ainsi que les appuis, appliquons-lui le système suivant de forces et couples auxiliaires, en équilibre :

1° En D_0 une force $\mathcal{F}$ parallèle à l'axe des x;

2° En D_1 une force $-\mathcal{F}$ également parallèle à l'axe des x;

3° A la section (X_0) un couple $\mathcal{C} = \mathcal{F}(y_1 - y_0)$.

Dans ces conditions, le premier membre de l'équation générale de l'élasticité est

$$\sum \mathcal{F}\lambda + \sum \mathcal{C}\varphi = \mathcal{F}\xi_0 - \mathcal{F}\xi_1 + \mathcal{F}(y_1 - y_0)\varphi_0.$$

D'autre part, les valeurs de $\mathcal{N}$, $\mathcal{T}$ et $\mathcal{M}$ correspondant au système $\mathcal{F}$, $-\mathcal{F}$ et $\mathcal{C}$ ci-dessus défini, sont :

1° En toute section comprise entre A et D_0, ainsi qu'entre D_1 et B,

$$\mathcal{N} = 0, \qquad \mathcal{T} = 0, \qquad \mathcal{M} = 0;$$

2° En toute section (X) comprise entre D_0 et D_1,

$$\mathcal{N} = \mathcal{F}\frac{dx}{ds}, \qquad \mathcal{T} = -\mathcal{F}\frac{dy}{ds}, \qquad \mathcal{M} = \mathcal{F}(y_1 - y).$$

Substituant dans l'équation générale de l'élasticité prise sous sa forme [1 *bis*] du n° 5, qui s'applique au cas de la flexion plane, il vient

$$\left.\begin{aligned} &\mathcal{F}\xi_0 - \mathcal{F}\xi_1 + \mathcal{F}(y_1 - y_0)\varphi_0 \\ &= \int_{D_0}^{D_1}\left[\left(\frac{N}{E\Omega} - \delta\tau\right)\mathcal{F}\frac{dx}{ds} - \frac{T}{G\Omega}\mathcal{F}\frac{dy}{ds} + \frac{M}{EI}\mathcal{F}(y_1 - y)\right]ds, \end{aligned}\right\}$$

d'où

$$\left.\begin{aligned} &\xi_1 = \xi_0 + \varphi_0(y_1 - y_0) \\ &- \int_{D_0}^{D_1}\left(\frac{N}{E\Omega} - \delta\tau\right)\frac{dx}{ds}ds + \int^{D_1}\frac{T}{G\Omega}\frac{dy}{ds}ds - \int_{D_0}^{D_1}\frac{M(y_1 - y)}{EI}ds. \end{aligned}\right\}$$

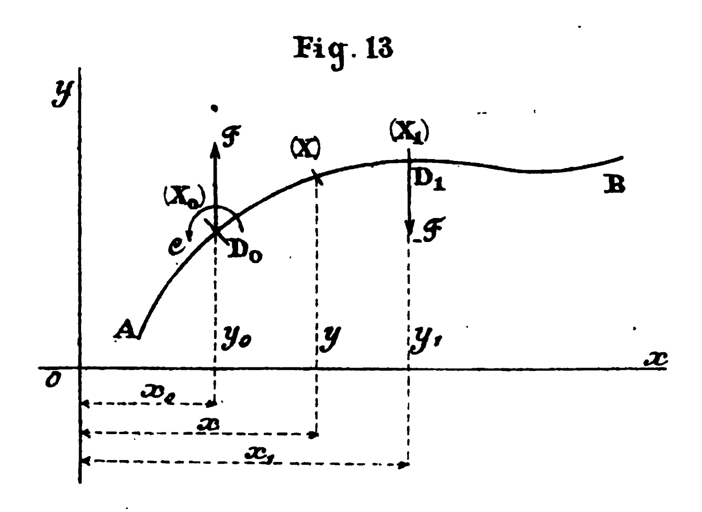
b) Expression de τ_{11}. — Adoptons comme système de forces et couples auxiliaires en équilibre (*fig. 13*) :

1° Une force $\mathfrak{F}$ parallèle à l'axe des y, appliquée en D_0 ;

2° Une force — $\mathfrak{F}$ également parallèle à l'axe des y, appliquée en D_1 ;

3° Un couple $\mathfrak{C} = -\mathfrak{F}(x_1 - x_0)$, appliqué à la section (X_0).

Fig. 13



Dès lors, le premier membre de l'équation générale [1 *bis*] du n° 5 est

$$\sum \mathfrak{F}\lambda + \sum \mathfrak{C}\varphi = \mathfrak{F}\eta_0 - \mathfrak{F}\eta_1 - \mathfrak{F}(x_1 - x_0)\varphi_0.$$

D'autre part, les valeurs de $\mathfrak{N}$, $\mathfrak{T}$ et $\mathfrak{M}$ correspondant au système $\mathfrak{F}$, $-\mathfrak{F}$ et $\mathfrak{C}$, ci-dessus défini, sont :

1° En toute section comprise entre A et D_0, ainsi qu'entre D_1 et B,

$$\mathfrak{N} = 0, \qquad \mathfrak{T} = 0, \qquad \mathfrak{M} = 0;$$

2° En toute section (X) comprise entre D_0 et D_1,

$$\mathfrak{N} = \mathfrak{F}\frac{dy}{ds}, \qquad \mathfrak{T} = \mathfrak{F}\frac{dx}{ds}, \qquad \mathfrak{M} = -\mathfrak{F}(x_1 - x).$$

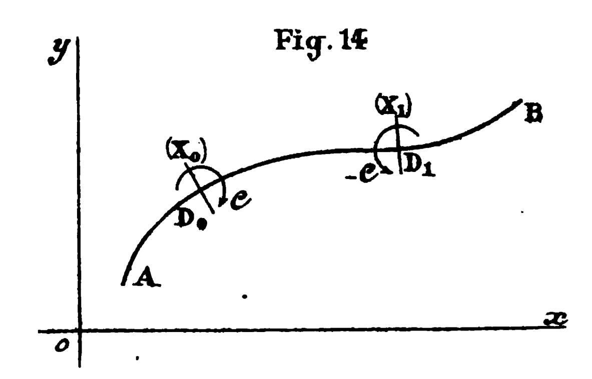
Substituant dans [1 *bis*] il vient

$$\left.\begin{array}{l}\mathcal{F}\eta_0 - \mathcal{F}\eta_1 - \mathcal{F}(x_1 - x_0)\varphi_0 \\ = \displaystyle\int_{D_0}^{D_1}\left[\left(\frac{N}{E\Omega} - \delta\tau\right)\mathcal{F}\frac{dy}{ds} - \frac{T}{G\Omega}\mathcal{F}\frac{dx}{ds} - \frac{M}{EI}\mathcal{F}(x_1 - x)\right]ds\,;\end{array}\right\}$$

d'où

$$\left.\begin{array}{l}\eta_1 = \eta_0 - \varphi_0(x_1 - x_0) \\ - \displaystyle\int_{D_0}^{D_1}\left(\frac{N}{E\Omega} - \delta\tau\right)\frac{dy}{ds}\,ds - \int_{D_0}^{D_1}\frac{T}{G\Omega}\frac{dx}{ds}\,ds + \int_{D_0}^{D_1}\frac{M(x_1 - x)}{EI}\,ds.\end{array}\right\}$$

(*c*) *Expression de* φ. — Constituons le système de forces et couples auxiliaires en équilibre, par deux couples $+\mathcal{C}$ et $-\mathcal{C}$ (*fig. 14*), appliqués respectivement à la section (X_0) et à la section (X_1).



Dès lors, le premier membre de l'équation générale [1 *bis*] est

$$\sum \mathcal{F}\lambda + \sum \mathcal{C}\varphi = \mathcal{C}\varphi_0 - \mathcal{C}\varphi_1.$$

D'autre part, les valeurs de $\mathcal{N}$, $\mathcal{T}$ et $\mathcal{M}$ sont :

1° En toute section comprise entre A et D_0, ainsi qu'entre D_1 et B,

$$\mathcal{N} = 0, \qquad \mathcal{T} = 0, \qquad \mathcal{M} = 0;$$

2° En toute section comprise entre D_0 et D_1,

$$\mathcal{N} = 0, \qquad \mathcal{T} = 0, \qquad \mathcal{M} = \mathcal{C}.$$

Substituant dans [1 *bis*] il vient,

$$\mathcal{C}\varphi_0 - \mathcal{C}\varphi_1 = \int_{D_1}^{D_1} \frac{M}{EI} \mathcal{C}\, ds;$$

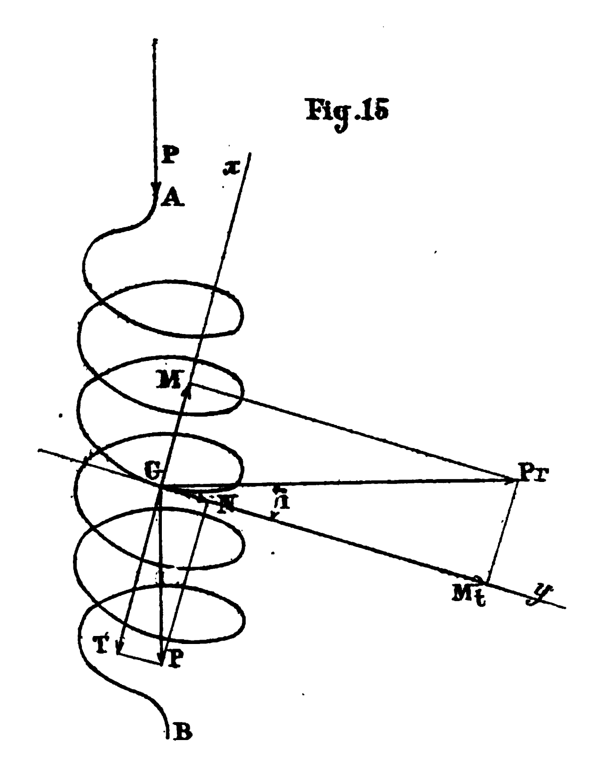
D'où

$$\varphi_1 = \varphi_0 - \int_{D_0}^{D_1} \frac{M}{EI} ds.$$

13. — Déformation élastique d'un ressort a boudin.

Nous traitons cette question comme exemple de l'application de l'équation générale de l'élasticité des constructions, à une pièce à fibre moyenne gauche, soumise simultanément à la flexion et à la torsion.

Un ressort à boudin (*fig. 15*) appuyé à son extrémité inférieure B,



supporte à son extrémité supérieure A, une charge P dirigée suivant son axe AB : on demande de calculer la diminution de

hauteur subie par ce ressort, sous l'action de cette charge, diminution qui porte le nom de *dépression*.

La fibre moyenne du ressort est une hélice; soient :

r le rayon du cylindre sur lequel elle est tracée ;

i l'angle constant de la tangente à l'hélice avec un plan normal à l'axe du cylindre;

s la longueur développée de la fibre moyenne.

Toute section transversale du ressort, normale à la fibre moyenne hélicoïdale en un point G quelconque, est supposée symétrique par rapport à la normale Gx, menée à cette fibre dans le plan tangent au cylindre en G ; d'où il suit que Gx est l'un des deux axes principaux d'inertie de la section.

Il est clair que le ressort est soumis simultanément à la flexion et à la torsion; par conséquent l'équation générale de l'élasticité des constructions doit être appliquée sous sa forme complète (1) du n° 2

$$\left.\begin{aligned} &\sum \mathfrak{F}\lambda + \sum \mathcal{C}\varphi \\ &= \int_0^{s} \left(\mathfrak{N}\frac{N}{E\Omega} + \mathfrak{T}\frac{T\cos\alpha}{G\Omega} + \mathfrak{M}\frac{M\sin\theta\sin(\theta+\beta)}{EI_r} + \mathfrak{M}_t\frac{M_t}{GI_p}\right) ds, \end{aligned}\right\}$$

suppression faite du terme relatif à la variation de température.

La seule force extérieure, appliquée au-dessus d'une section quelconque du ressort, est la charge P qui équivaut à :

1° Une force égale et parallèle à P, appliquée au centre de gravité G de cette section ;

2° Un couple situé dans le plan passant par l'axe du ressort et par le point G, couple dont l'axe représentatif est normal à ce plan et a pour valeur Pr.

Par suite, en toute section du ressort, on a

$$N = P\sin i,$$

$$T = P\cos i,$$

$$M = Pr\sin i,$$

$$M_t = Pr\cos i,$$

$$\theta = 90^\circ.$$

Cette valeur de θ résulte de ce que l'axe du couple de flexion M est dirigé suivant Gx, axe principal d'inertie de la section.

Supprimons la charge P et l'appui et adoptons, comme système de forces auxiliaires, deux forces $\mathfrak{F}$ et $-\mathfrak{F}$ égales et contraires, respectivement appliquées en A et en B. (Ces forces ne sont pas représentées sur la figure.)

Dans ces conditions, d'une part, le premier membre de l'équation se réduit à :

$$\mathfrak{F}\lambda,$$

λ désignant le déplacement élastique, suivant AB, du point A du ressort chargé du poids P.

D'autre part, il est évident qu'en toute section du ressort

$$\mathfrak{N} = \mathfrak{F} \sin i,$$

$$\mathfrak{T} = \mathfrak{F} \cos i,$$

$$\mathfrak{M} = \mathfrak{F}r \sin i,$$

$$\mathfrak{M}_t = \mathfrak{F}r \cos i ;$$

et qu'en outre $\alpha = 0, \qquad \beta = 0,$

attendu que $\mathfrak{T}$ et T ont même ligne d'action, et que les couples $\mathfrak{M}$ et M ont même direction d'axe.

L'équation générale de l'élasticité des constructions donne donc

$$\mathfrak{F}\lambda = \int_0^s \left(\frac{\mathfrak{F}\mathrm{P}\sin^2 i}{\mathrm{E}\Omega} + \frac{\mathfrak{F}\mathrm{P}\cos^2 i}{\mathrm{G}\Omega} + \frac{\mathfrak{F}\mathrm{P}r^2\sin^2 i}{\mathrm{EI}_x} + \frac{\mathfrak{F}\mathrm{P}r^2\cos^2 i}{\mathrm{GI}_p}\right)ds.$$

D'où, dans le cas d'un ressort de section constante,

$$\lambda = \mathrm{P}s\left(\frac{\sin^2 i}{\mathrm{E}\Omega} + \frac{\cos^2 i}{\mathrm{G}\Omega} + \frac{r^2\sin^2 i}{\mathrm{EI}_x} + \frac{r^2\cos^2 i}{\mathrm{GI}_p}\right).$$

Si la section du ressort est un cercle de diamètre d,

$$\Omega = \frac{\pi d^2}{4}, \qquad \mathrm{I}_x = \frac{\pi d^4}{64}, \qquad \mathrm{I}_p = \frac{\pi d^4}{32},$$

et l'expression de λ devient

$$\lambda = \frac{4Ps}{\pi d^2}\left(\frac{\sin^2 i}{E} + \frac{\cos^2 i}{G} + \frac{16r^2 \sin^2 i}{Ed^2} + \frac{8r^2 \cos^2 i}{Gd^2}\right).$$

Les deux premiers termes du second membre, qui correspondent aux déformations de l'ordre de la compression normale et de l'effort tranchant, sont négligeables ; on peut donc écrire approximativement

$$\lambda = \frac{32Psr^2}{\pi d^4}\left(\frac{2\sin^2 i}{E} + \frac{\cos^2 i}{G}\right).$$

Enfin, dans le cas où i est petit, c'est-à-dire si le pas de l'hélice est faible, le terme en $\sin^2 i$, qui correspond aux déformations de l'ordre du couple de flexion, est négligeable, et $\cos^2 i$ diffère peu de l'unité, de sorte qu'on a pour expression approchée de λ

$$\lambda = \frac{32Psr^2}{G\pi d^4};$$

c'est la formule usuelle.

On remarquera que l'établissement des formules ci-dessus, par des considérations cinématiques, exigerait des développements sensiblement plus longs et compliqués.

CHAPITRE III

Application de l'équation générale de l'élasticité des constructions, au calcul des déplacements élastiques absolus dans les systèmes de pièces.

14. — Exposé de la méthode.

La méthode à suivre pour calculer les déplacements élastiques absolus dans les systèmes de pièces, au moyen de l'équation générale de l'élasticité, est, dans son ensemble, la même que dans le cas d'une pièce unique (n° 8).

Elle consiste à choisir le système de forces et couples auxiliaires, en équilibre, de telle façon que le déplacement absolu cherché λ, ou φ, subsiste seul dans le premier membre de la susdite équation.

Si, par exemple, on se propose de déterminer le déplacement linéaire absolu d'un point donné D, suivant une direction arbitrairement choisie Q, il faut constituer le système auxiliaire par :

1° Une force $\mathcal{F}$ de direction Q appliquée en D ;

2° Des forces appliquées aux points correspondant aux appuis simples et à rotules (ou à un certain nombre seulement de ces appuis), forces de direction arbitraire pour les appuis à rotule et de direction normale à la droite d'appui pour les appuis simples ;

3° Des couples appliqués aux sections d'encastrement ;

Ces forces et couples formant, bien entendu, un système en équilibre.

Dans ces conditions, en effet, le premier membre de l'équation générale se réduit à $\mathcal{F}\lambda$ et cette équation donne, par suite,

$$\lambda = \frac{1}{\mathcal{F}} \sum_{1}^{n} \int_{0}^{s} \left[\mathcal{N} \left(\frac{N}{E\Omega} - \delta\tau \right) + \mathcal{C} \frac{T}{G\Omega} + \mathcal{M} \frac{M}{EI} \right] ds,$$

si l'on se borne au cas ordinaire d'un système de pièces soumises à la flexion plane.

S'il s'agit de déterminer la rotation absolue φ d'une section (X) d'une pièce quelconque de la construction, il faut constituer le système auxiliaire par :

1° Un couple $\mathcal{C}$ appliqué à la section (X);

2° Des forces et des couples appliqués dans les conditions indiquées précédemment pour le calcul de λ.

Et l'équation générale de l'élasticité donne, dès lors,

$$\varphi = \frac{1}{\mathcal{C}} \sum_{1}^{n} \int_{0}^{s_1} \left[\mathcal{N} \left(\frac{N}{E\Omega} - \delta\tau \right) + \mathcal{T} \frac{T}{G\Omega} + \mathcal{M} \frac{M}{EI} \right] ds.$$

Voici quelques applications destinées à bien faire comprendre la méthode.

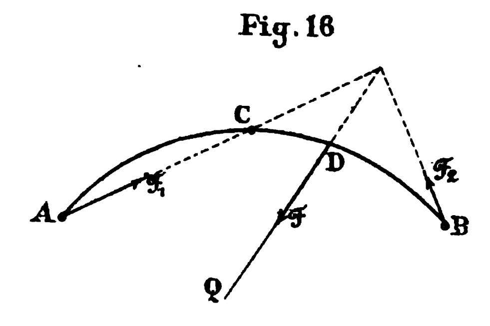
15. — Arc a ame pleine, a trois rotules A, B, C *(fig. 16)*.

Ce système, formé de deux pièces AC et CB, est *isostatique*.

Soit à déterminer le déplacement absolu d'un point quelconque D de l'arc, en projection sur une direction Q arbitrairement choisie.

L'arc étant ramené à sa température de pose, et les forces

Fig. 16



qui le sollicitent étant supprimées ainsi que ses deux appuis à rotules A et B, adoptons le système suivant de forces auxiliaires :

1° Une force $\mathcal{F}$ appliquée en D suivant la direction Q;

2° Une force $\mathcal{F}_1$ appliquée en A, suivant la direction AC;

3° Une force $\mathcal{F}_2$ appliquée en B et concourante avec $\mathcal{F}$ et $\mathcal{F}_1$;

les grandeurs des deux forces $\mathfrak{F}_1$ et de $\mathfrak{F}_2$ étant d'ailleurs calculées de façon qu'elles fassent équilibre à la force $\mathfrak{F}$, ce qui n'offre aucune difficulté.

$\mathfrak{N}$, $\mathfrak{T}$ et $\mathfrak{M}$ désignant la compression normale, l'effort tranchant et le moment de flexion produits en une section quelconque de chacune des deux pièces AC et CB, par le système de forces auxiliaires qui vient d'être défini, l'équation générale de l'élasticité donne immédiatement pour expression du déplacement projeté λ cherché

$$\lambda = \frac{1}{\mathfrak{F}}\left[\int_A^C \left[\mathfrak{N}\left(\frac{N}{E\Omega} - \delta\tau\right) + \mathfrak{T}\frac{T}{G\Omega} + \mathfrak{M}\frac{M}{EI}\right]ds + \int_C^B \left[\mathfrak{N}\left(\frac{N}{E\Omega} - \delta\tau\right) + \mathfrak{T}\frac{T}{G\Omega} + \mathfrak{M}\frac{M}{EI}\right]ds\right]$$

Les valeurs de $\mathfrak{N}$, $\mathfrak{T}$, $\mathfrak{M}$ dépendent de la forme de la fibre moyenne ACB de l'arc ; elles sont statiquement déterminées et se calculent aisément dans chaque cas particulier.

16. — Arc a treillis simple, a nœuds articulés et a trois rotules A, B, C (*fig. 17*, abstraction faite des barres diagonales tracées en pointillé).

Ce système de pièces est *isostatique.*

Les forces F qui le sollicitent sont appliquées exclusivement aux nœuds ; elles ne sont pas représentées sur la figure.

Soit à trouver le déplacement absolu d'un nœud quelconque D, estimé suivant une direction Q arbitrairement choisie.

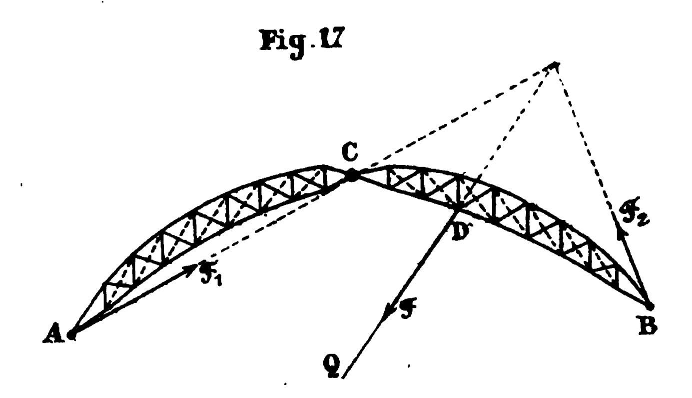
L'arc à treillis étant ramené à sa température de pose et les forces F étant supprimées ainsi que les appuis à rotule A et B, adoptons le même système de forces auxiliaires en équilibre $\mathfrak{F}$, $\mathfrak{F}_1$ $\mathfrak{F}_2$, que dans le cas de l'arc à âme pleine à trois rotules (n° 15).

L'équation générale de l'élasticité, sous sa forme [2 *ter*] applicable aux systèmes articulés (n° 7) donne immédiatement, pour expression du déplacement projeté λ cherché,

$$\lambda = \frac{1}{\mathfrak{F}}\sum_1^n \mathfrak{N}\left(\frac{N}{E\Omega} - \delta\tau\right)s,$$

$\mathfrak{N}$ désignant les compressions (ou tensions) développées dans les différentes barres de l'arc par les trois forces auxiliaires $\mathfrak{F}$, $\mathfrak{F}_1$ $\mathfrak{F}_2$, et N les compressions (ou tensions) produites dans ces mêmes barres pour les forces F données.

Fig. 17



On remarquera que N et $\mathfrak{N}$ sont statiquement déterminées et s'obtiennent facilement, par exemple au moyen d'une épure de Cremona.

17. — Arc a treillis double, a nœuds articulés et a trois rotules A, B, C (*fig. 17*, y compris le tracé en pointillé).

Ce système de pièces est *intérieurement hyperstatique:* les barres diagonales tracées en pointillé sont surabondantes.

Pour trouver le déplacement absolu d'un nœud quelconque D, estimé suivant une direction Q arbitrairement choisie, on opérera comme au n° 16, *sauf qu'avant d'appliquer le système de forces auxiliaires en équilibre $\mathfrak{F}$, $\mathfrak{F}_1$, $\mathfrak{F}_2$, on rendra l'arc isostatique en supprimant les barres surabondantes* (n° 4). Le déplacement λ cherché sera encore donné par la formule

$$\lambda = \frac{1}{\mathfrak{F}} \sum_1^n \mathfrak{N} \left(\frac{N}{E\Omega} - \delta\tau \right) s,$$

la somme n'étant étendue qu'aux n barres tracées en traits pleins et non aux barres surabondantes tracées en pointillé.

On remarquera que les compressions (ou tensions) $\mathfrak{N}$ produites

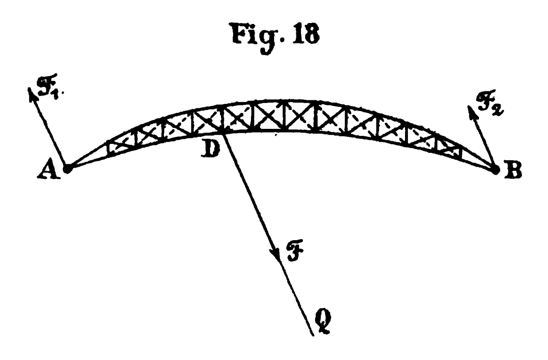
par les forces auxiliaires, dans les n barres de l'arc rendu isostatique, sont encore statiquement déterminées, comme au n° 16. Mais, celles N produites par les forces F *dans ces mêmes barres* de l'arc hyperstatique donné, sont statiquement indéterminées ; on pourra les obtenir approximativement, selon la méthode usuelle, en considérant l'arc hyperstatique comme formé par la juxtaposition de deux arcs isostatiques comportant, l'un, les diagonales tracées en traits pleins, l'autre les diagonales tracées en pointillé.

18. — Arc a treillis simple, a nœuds articulés et a deux rotules

(*fig. 18*, abstraction faite des diagonales tracées en pointillé.)

Ce système de pièces est *extérieurement hyperstatique :* la poussée de l'arc, due aux forces F qui le sollicitent et à la variation de la température, est en effet statiquement indéterminée ; nous en indiquerons, du reste, le mode de calcul au n° 25. Cette poussée, une fois calculée, les compressions (ou tensions) N des diverses

Fig. 18



barres de l'arc, se déterminent aisément : par exemple, par le tracé d'une épure de Cremona ; supposons-les connues et proposons-nous de chercher le déplacement absolu d'un nœud quelconque D estimé suivant une direction Q arbitrairement choisie.

L'arc étant ramené à sa température de pose, et les forces F supprimées ainsi que les deux appuis à rotule A et B, considérons le système de forces auxiliaires suivant :

1° Une force $\mathcal{F}$ appliquée en D, suivant la direction Ω ;

2° Deux forces $\mathcal{F}_1$ et $\mathcal{F}_2$, appliquées en A et en B parallèlement à la force $\mathcal{F}$ et lui faisant équilibre.

Dans ces conditions, l'équation générale de l'élasticité, sous sa forme (2 *ter*) (n° 7), donne immédiatement pour expression du déplacement projeté λ cherché :

$$\lambda = \frac{1}{\mathcal{F}} \sum_{1}^{n} \mathfrak{N} \left(\frac{N}{E\Omega} - \delta\tau \right) s,$$

$\mathfrak{N}$ désignant les compressions ou tensions développées dans les barres de l'arc, par les trois forces auxiliaires $\mathcal{F}$, $\mathcal{F}_1$, $\mathcal{F}_2$.

Les valeurs de $\mathfrak{N}$ sont statiquement déterminées ; une épure de Cremona les fournit rapidement.

Remarque. — Si le treillis est double (*fig. 18* avec les barres tracées en pointillé) le système est *intérieurement et extérieurement hyperstatique* ; mais l'expression de λ reste la même ; la somme Σ est étendue, comme précédemment, aux n barres tracées en traits pleins, à l'exclusion des barres surabondantes tracées en pointillé. Les compressions ou tensions $\mathfrak{N}$ conservent les mêmes valeurs que précédemment. Quant à celles N, elles sont statiquement indéterminées ; pour lever cette indétermination, on pourra opérer par la méthode usuelle approximative rappelée au n° 17.

CHAPITRE IV

Application de l'équation générale de l'élasticité des constructions, au calcul des efforts dans les pièces hyperstatiques.

19. — Les quelques exemples ci-après ont exclusivement pour objet de montrer avec quelle simplicité l'équation générale de l'élasticité des constructions permet de former les équations exprimant les conditions aux appuis dans les pièces hyperstatiques, équations qui, jointes à celles fournies par la Statique pure, permettent de calculer les réactions des appuis et, par suite, les forces élastiques.

20. — Poutre droite continue reposant sur des appuis simples, de niveau ou non.

Soient *(fig. 19)* :

$A_0 \ldots, A_i \ldots, A_n$, les appuis de la poutre;

$y_0 \ldots, y_i \ldots, y_n$, les ordonnées de ces appuis, rapportées à un plan horizontal arbitrairement choisi;

$l_1 \ldots, l_i \ldots, l_n$, les portées des travées successives.

Nous allons exprimer, au moyen de l'équation générale de l'élasticité, que, dans sa déformation élastique sous l'action des charges qui la sollicitent, la poutre est astreinte à ne pas quitter ses appuis, par exemple les trois appuis consécutifs A_{i-1}, A_i, A_{i+1}.

A cet effet, supprimons les charges agissant sur la poutre, ainsi que les appuis de celle-ci et appliquons-lui *(fig. 20)* les forces auxiliaires suivantes qui forment un système en équilibre :

1° En A_i une force $\mathfrak{F}$ verticale et descendante ;

2° En A_{i-1} une force $-\mathfrak{F}\dfrac{l_{i+1}}{l_i + l_{i+1}}$ verticale et ascendante ;

3° En A_{i+1} une force $-\mathfrak{F}\dfrac{l_i}{l_i + l_{i+1}}$ verticale et ascendante.

Fig. 19

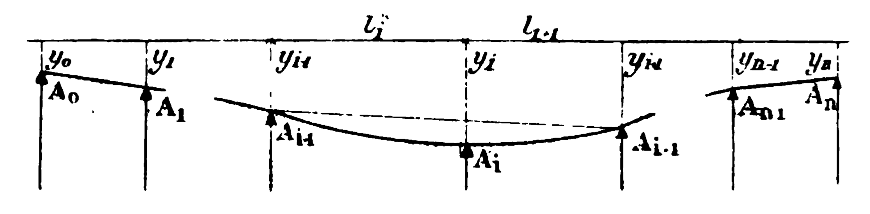
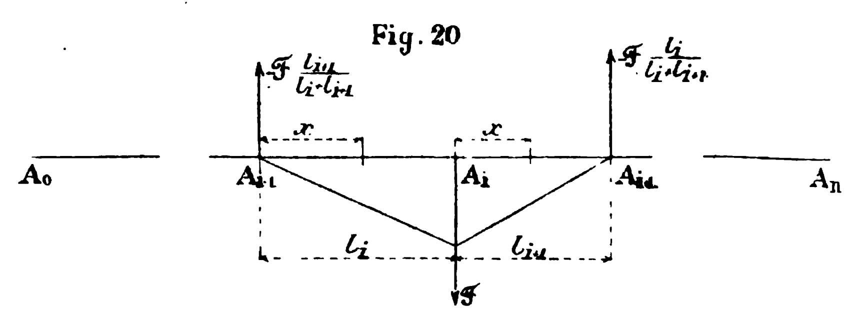


Fig. 20



Les moments de flexion $\mathfrak{M}$ développés dans la poutre par ces forces auxiliaires ont pour valeurs :

Entre A_0 et A_{i-1}

$$\mathfrak{M} = 0;$$

Entre A_{i-1} et A_i

$$\mathfrak{M} = \mathfrak{F}\frac{l_{i+1}}{l_i + l_{i+1}}\,x;$$

Entre A_i et A_{i+1}

$$\mathfrak{M} = \mathfrak{F}\frac{l_i}{l_i + l_{i+1}}\,(l_{i+1} - x);$$

Entre A_{i+1} et A_n

$$\mathfrak{M} = 0.$$

Cela posé, dans les deux travées l_i et l_{i+1} de la poutre donnée (*fig. 19*) convenons de mesurer les ordonnées de la fibre moyenne déformée à partir de la droite $A_{i-1}A_{i+1}$, de sorte que les déplacements élastiques des deux points A_{i-1} et A_{i+1} sont nuls (*) et que le déplacement élastique du point A_i est

$$y_i - y_{i-1}\frac{l_{i+1}}{l_i + l_{i+1}} - y_{i+1}\frac{l_i}{l_i + l_{i+1}} = \frac{(y_i - y_{i-1})l_{i+1} + (y_i - y_{i+1})l_i}{l_i + l_{i+1}}.$$

L'équation générale de l'élasticité, sous sa forme

$$\sum \mathcal{F}\lambda + \sum \mathcal{C}\varphi = \int_o^s \mathfrak{M}\,\frac{M}{EI}ds,$$

applicable aux poutres droites, donne donc, avec le système de forces auxiliaires défini ci-dessus,

$$\left.\begin{aligned}&-\mathcal{F}\frac{l_{i+1}}{l_i + l_{i+1}}\times 0 + \mathcal{F}\frac{(y_i - y_{i-1})l_{i+1} + (y_i - y_{i+1})l_i}{l_i + l_{i+1}} - \mathcal{F}\frac{l_i}{l_i + l_{i+1}}\times 0\\ &= \int_o^{l_i}\mathcal{F}\frac{l_{i+1}}{l_i + l_{i+1}}x\frac{M}{EI}dx + \int_o^{l_{i+1}}\mathcal{F}\frac{l_i}{l_i + l_{i+1}}(l_{i+1} - x)\frac{M}{EI}dx;\end{aligned}\right\}$$

ou

$$\frac{1}{l_i}\int_o^{l_i}\frac{Mxdx}{EI} + \frac{1}{l_{i+1}}\int_o^{l_{i+1}}\frac{M(l_{i+1} - x)dx}{EI} = \frac{y_i - y_{i-1}}{l_i} + \frac{y_i - y_{i+1}}{l_{i+1}}.$$

C'est la relation bien connue qui existe entre les moments dans deux travées consécutives d'une poutre continue et de laquelle découle immédiatement l'équation de Clapeyron.

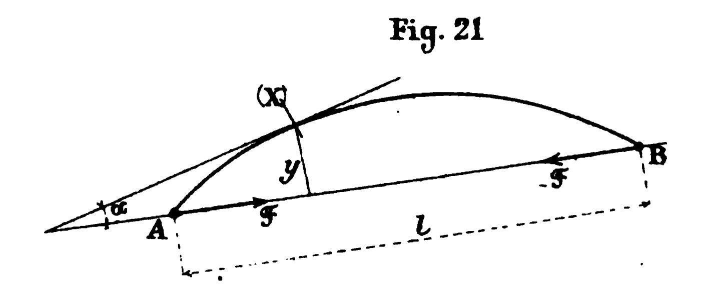
21. — Arc a deux rotules.

Il faut exprimer que, dans la déformation élastique de l'arc sous l'action des forces qui le sollicitent et de la variation de température, la corde AB (*fig. 21*) ne change pas de longueur. A cet effet, les forces ainsi que les appuis A et B étant supprimés

(*) Ceci revient à supposer, — ce qui, d'ailleurs, est parfaitement légitime, — que la poutre initialement rectiligne a d'abord été posée sur les deux seuls appuis A_{i-1} et A_{i+1} et qu'on a ensuite installé sous cette poutre les autres appuis.

et la température ramenée à celle de pose, appliquons à l'arc, en A et en B suivant sa corde, deux forces auxiliaires $+\mathfrak{F}$ et

Fig. 21



$-\mathfrak{F}$ égales et contraires. Ces forces déterminent en une section quelconque (X) de l'arc :

1° Une compression normale

$$\mathfrak{N} = \mathfrak{F} \cos \alpha ;$$

2° Un effort tranchant

$$\mathfrak{T} = -\mathfrak{F} \sin \alpha ;$$

3° Un couple de flexion

$$\mathfrak{M} = -\mathfrak{F} y.$$

Par suite, en remarquant que, dans l'arc donné reposant sur ses rotules, les déplacements élastiques des points A et B sont nuls, on voit que l'équation générale de l'élasticité, sous sa forme

$$\sum \mathfrak{F}\lambda + \sum \mathfrak{C}\varphi = \int_0^{s_1} \left[\mathfrak{N}\left(\frac{N}{E\Omega} - \delta\tau\right) + \mathfrak{T}\frac{T}{G\Omega} + \mathfrak{M}\frac{M}{EI} \right] ds,$$

applicable aux pièces soumises à la flexion plane, donne

$$\mathfrak{F} \times 0 - \mathfrak{F} \times 0 = \int_0^{s_1} \left[\mathfrak{F} \cos \alpha \left(\frac{N}{E\Omega} - \delta\tau\right) - \mathfrak{F} \sin \alpha \frac{T}{G\Omega} - \mathfrak{F} y \frac{M}{EI} \right] ds,$$

ou

$$\int_0^{s_1} \frac{N \cos \alpha}{E\Omega} ds - \delta\tau l - \int_0^{s_1} \frac{T \sin \alpha}{G\Omega} ds - \int_0^{s_1} \frac{My}{EI} ds = 0;$$

c'est l'équation classique du problème.

22. — Arc encastré a ses deux extrémités.

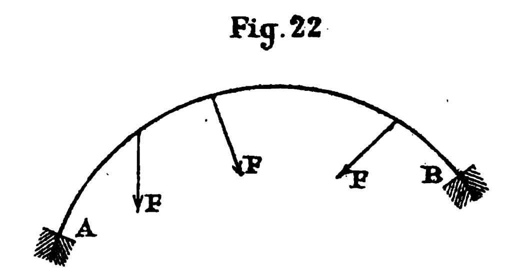
Nous devons exprimer que, dans la déformation élastique de l'arc *(fig. 22)* sous l'effet des forces F qui le sollicitent et de la variation de la température :

1° Les deux sections d'encastrement (A) et (B) ne prennent aucun déplacement de rotation;

2° Les centres de gravité A et B de ces sections ne prennent aucun déplacement suivant la corde AB;

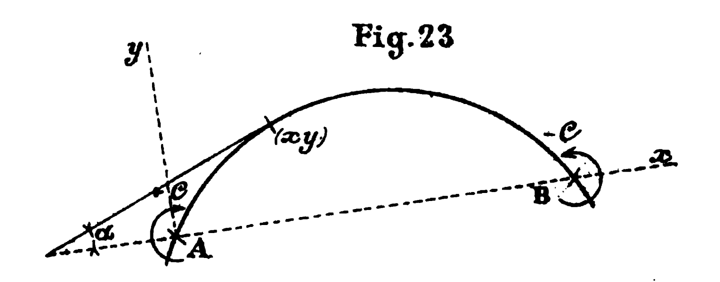
3° Ces mêmes points ne prennent aucun déplacement perpendiculairement à AB.

Fig. 22



Pour exprimer la première des trois conditions ci-dessus, l'arc étant déchargé, les appuis à encastrement supprimés et la température ramenée à celle de pose, appliquons à la section (A)

Fig. 23



(fig. 23) un couple auxiliaire + C et à la section (B) un couple auxiliaire — C, lesquels forment un système en équilibre.

En toute section de l'arc, ces couples développent :

Une compression normale

$$\mathfrak{N} = 0;$$

Un effort tranchant

$$\mathfrak{T} = 0;$$

Un moment de flexion

$$\mathfrak{M} = + \mathcal{C}.$$

L'application de l'équation générale de l'élasticité fournit donc la relation

$$+ \mathcal{C} \times 0 - \mathcal{C} \times 0 = \int_0^s \mathcal{C} \frac{M}{EI} ds,$$

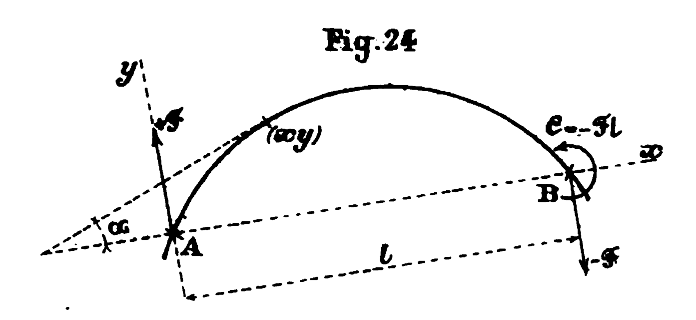
ou

$$\int_0^s \frac{M}{EI} ds = 0. \qquad (1)$$

La seconde condition s'exprime exactement de la même manière que dans l'arc à deux rotules et conduit à la même équation, savoir :

$$\int_0^{s_1} \frac{N \cos \alpha}{E\Omega} ds - \delta \tau l - \int_0^{s_1} \frac{T \sin \alpha}{G\Omega} ds - \int_0^{s_1} \frac{My}{EI} ds = 0. \qquad (2)$$

Pour exprimer la troisième condition, appliquons le système suivant de forces et couples auxiliaires en équilibre : au point A



(*fig.* 24), une force $+ \mathcal{F}$ normale à AB ; au point B, une force $- \mathcal{F}$ parallèle à la première ; et, sur la section B, un couple $\mathcal{C} = - \mathcal{F}l$.

Ces forces et ce couple déterminent, en toute section de l'arc :

Une compression normale

$$\mathfrak{N} = \mathfrak{F} \sin \alpha ;$$

Un effort tranchant

$$\mathfrak{C} = \mathfrak{F} \cos \alpha ;$$

Un moment de flexion

$$\mathfrak{M} = \mathfrak{F} x .$$

L'équation générale de l'élasticité donne donc

$$\left.\begin{aligned} &\mathfrak{F} \times 0 - \mathfrak{F} \times 0 + \mathfrak{C} \times 0 \\ &= \int_0^s \left[\mathfrak{F} \sin \alpha \left(\frac{N}{E\Omega} - \delta\tau \right) + \mathfrak{F} \cos \alpha \frac{T}{G\Omega} + \mathfrak{F} x \frac{M}{EI} \right] ds, \end{aligned}\right\}$$

ou

$$\int_0^s \frac{N \sin \alpha}{E\Omega} ds + \int_0^s \frac{T \cos \alpha}{G\Omega} ds + \int_0^s \frac{Mx}{EI} ds = 0. \qquad [3]$$

[1], [2] et [3] sont les équations bien connues du problème (*).

23. — Arc encastré a ses deux extrémités, sollicité par des forces normales au plan de sa fibre moyenne.

Toute section (X) de l'arc *(fig. 25)* est supposée symétrique par rapport au plan de la fibre moyenne AGB, de sorte que la normale $G\xi$ à cette fibre, menée dans ce plan, est l'un des deux axes principaux d'inertie de la section et que la normale $G\eta$, menée en G à ce même plan, est l'autre axe principal.

Cela posé, il est facile de voir que, si l'on fait abstraction de l'effet de la variation de température déjà étudié au n° 22, les forces élastiques dans la section (X) sont réductibles à un effort tranchant T dirigé suivant $G\eta$, à un couple de flexion M dont

(*) Nous donnons en Annexe à la présente Note (page 428), deux théorèmes relatifs aux réactions des encastrements dues aux forces appliquées à l'arc et aux variations de température.

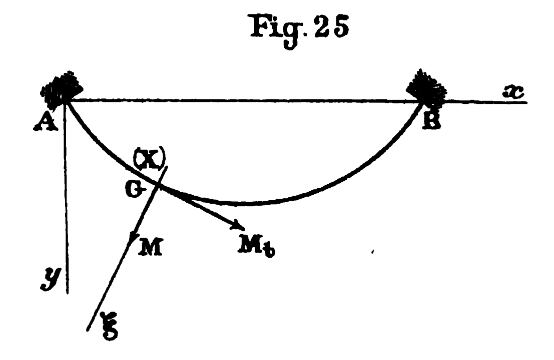
l'axe coïncide avec $G\zeta$ et à un couple de torsion M_t; par suite, dans l'équation générale de l'élasticité prise sous sa forme [1'] du n° 2, on doit faire

$$N = 0, \quad T_\xi = 0, \quad T_\eta = T, \quad M_\xi = M, \quad M_\eta = 0;$$

ce qui donne, en supprimant le terme relatif à la variation de température,

$$\sum \mathcal{F}\lambda + \sum \mathcal{C}\varphi = \int_0^s \left(\mathcal{T}_\eta \frac{T}{G\Omega} + \mathfrak{M}_\xi \frac{M}{EI_\xi} + \mathfrak{M}_t \frac{M_t}{GI_p} \right) ds. \qquad [a]$$

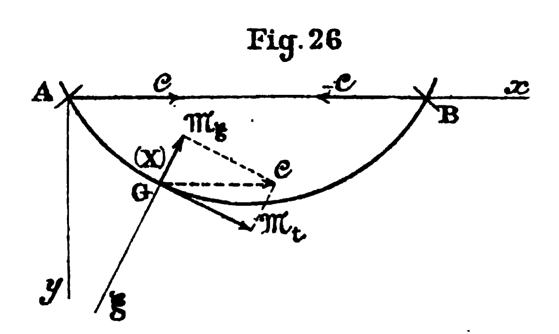
Fig. 25



Au moyen de cette équation exprimons les conditions aux appuis, qui sont au nombre de trois :

1° Les rotations des sections d'encastrement (A) *et* (B) *autour de l'axe* Ax *sont nulles.* — L'arc étant déchargé et les appuis à encastrement supprimés, appliquons à la section (A) (*fig. 26*) un

Fig. 26



couple auxiliaire $\mathcal{C}$ d'axe dirigé suivant Ax et à la section B un couple égal et contraire — $\mathcal{C}$.

Ces deux couples produisent en toute section (X) des forces élastiques réductibles au couple $\mathcal{C}$, c'est-à-dire à

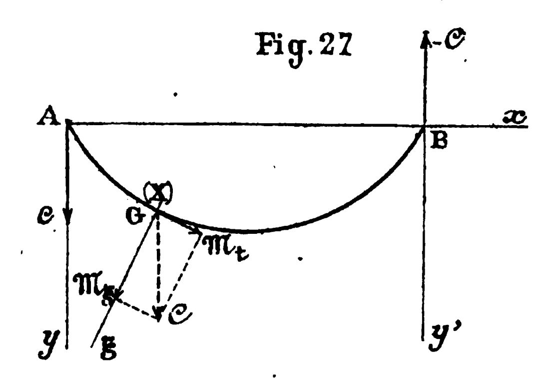
$$\mathcal{T}_{\eta} = 0, \qquad \mathfrak{M}_{\xi} = -\mathcal{C}\frac{dy}{ds}, \qquad \mathfrak{M}_{t} = \mathcal{C}\frac{dx}{ds},$$

x et y désignant les coordonnées du point G relativement aux axes Ax et Ay.

L'équation [a] donne donc, suppression faite du facteur commun $\mathcal{C}$,

$$-\int_0^s \frac{M}{EI_{\xi}} \frac{dy}{ds} ds + \int_0^s \frac{M_t}{GI_p} \frac{dx}{ds} ds = 0. \qquad [1]$$

2° *Les rotations des sections d'encastrement* (A) *et* (B), *respectivement autour de* Ay *et* By′ *sont nulles.* — Appliquons à la section (A) (*fig.* 27) un couple auxiliaire $\mathcal{C}$, d'axe dirigé suivant Ay, et à la section B un couple — $\mathcal{C}$ d'axe dirigé suivant By'. Les forces



élastiques développées en toute section (X), par ces deux couples sont réductibles au couple $\mathcal{C}$, c'est-à-dire à

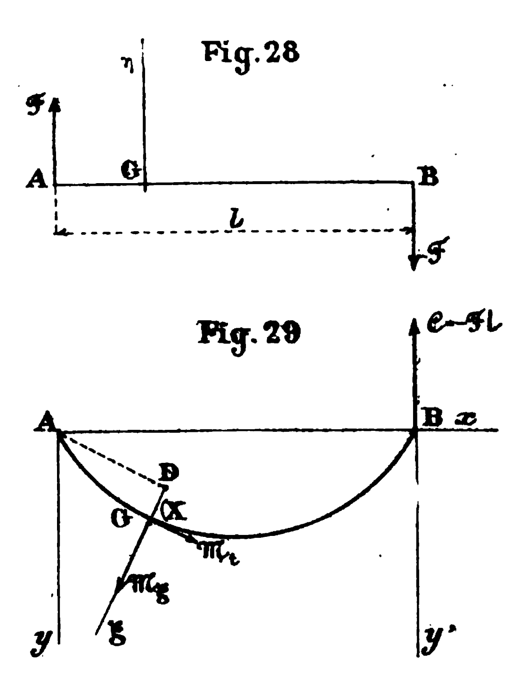
$$\mathcal{T}_{\eta} = 0, \qquad \mathfrak{M}_{\xi} = \mathcal{C}\frac{dx}{ds}, \qquad \mathfrak{M}_{t} = \mathcal{C}\frac{dy}{ds}.$$

L'équation [a] donne par suite

$$\int_0^s \frac{M}{EI_{\xi}} \frac{dx}{ds} ds + \int_0^s \frac{M_t}{GI_p} \frac{dy}{ds} = 0. \qquad [2]$$

3° *Les déplacements des centres de gravité* A *et* B *des sections d'encastrement, estimés suivant la normale au plan de la fibre moyenne, sont nuls.* — Le système de forces et couples auxiliaires à considérer

se compose de deux forces $\mathcal{F}$ et $-\mathcal{F}$ (*fig.* 28) normales au plan AGB, appliquées respectivement en A et en B, et d'un couple $\mathcal{C} = -\mathcal{F}l$ (*fig.* 29) appliqué à la section B et d'axe pa-



rallèle à l'axe des y. Les forces élastiques qui en résultent dans toute section (X) sont réductibles à

$$\mathcal{T}_\eta = \mathcal{F},$$

$$\mathfrak{M}_\xi = \mathcal{F} \times AD = \mathcal{F}\left(x\frac{dx}{ds} + y\frac{dy}{ds}\right),$$

$$\mathfrak{M}_t = -\mathcal{F} \times GD = \mathcal{F}\left(x\frac{dy}{ds} - y\frac{dx}{ds}\right),$$

D, désignant le pied de la normale abaissée de A sur Gξ.

Par conséquent, l'équation (a) donne

$$\int_0^{s_1} \frac{T}{G\Omega}\,ds + \int_0^{s_1} \frac{M}{EI_\xi}\left(x\frac{dx}{ds} + y\frac{dy}{ds}\right)ds + \int_0^{s_1} \frac{M_t}{GI_p}\left(x\frac{dy}{ds} - y\frac{dx}{ds}\right)ds = 0. \quad [3]$$

[1], [2] et [3] sont les trois relations qui, jointes à celles fournies par la Statique pure, permettent de déterminer les réactions des encastrements.

CHAPITRE V

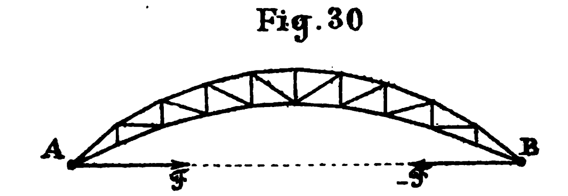
Application de l'équation générale de l'élasticité des constructions, au calcul des efforts dans les systèmes hyperstatiques.

24. — Les quelques exemples ci-après suffiront à mettre clairement en évidence la méthode, d'ailleurs très simple, à suivre pour calculer les efforts dans les systèmes hyperstatiques, au moyen de l'équation générale de l'élasticité des constructions.

25. — Arc a treillis simple, a noeuds articulés et a deux rotules A et B (*fig. 30*).

Ce système est *extérieurement* hyperstatique. La seule condition à exprimer est que les déplacements élastiques des points A et B, en projection sur la corde AB, sont nuls.

Fig. 30



L'arc étant ramené à sa température de pose et les forces qui le sollicitent étant supprimées ainsi que les deux appuis à rotule, appliquons l'équation générale de l'élasticité sous la forme 2 *ter* (nº 7), qui convient aux systèmes articulés, en prenant comme forces auxiliaires deux forces $\mathfrak{F}$ et $-\mathfrak{F}$ appliquées respectivement en A et en B et dirigées suivant AB. Il vient immédiatement

$$\sum_{1}^{n} \mathfrak{N} \left(\frac{N}{E\Omega} - \delta\tau \right) s = 0, \qquad [1]$$

puisque les déplacements élastiques des points d'application des forces auxiliaires sont nuls.

C'est la condition cherchée.

On remarquera que les efforts $\mathcal{N}$ développés dans les diverses barres du système par les forces auxiliaires $\mathcal{F}$ et — $\mathcal{F}$ se déterminent aisément, par exemple au moyen d'une épure de Cremona.

Proposons-nous de déduire de l'équation de condition [1], la valeur de la poussée Q, dans l'hypothèse que l'arc est sollicité par des charges verticales. A cet effet, remarquons que dans une barre quelconque on a, en vertu du principe de superposition

$$N = N_r + N_Q,$$

N_r désignant l'effort produit dans cette barre par les charges et les réactions verticales des rotules, et N_Q l'effort produit par les poussées Q et — Q appliquées en A et en B.

Or, en vertu du même principe, il est clair que

$$N_Q = \mathcal{N} \frac{Q}{\mathcal{F}}.$$

Par suite

$$N = N_r + \mathcal{N} \frac{Q}{\mathcal{F}}.$$

En substituant dans l'équation [1] et en résolvant par rapport à Q, on obtient

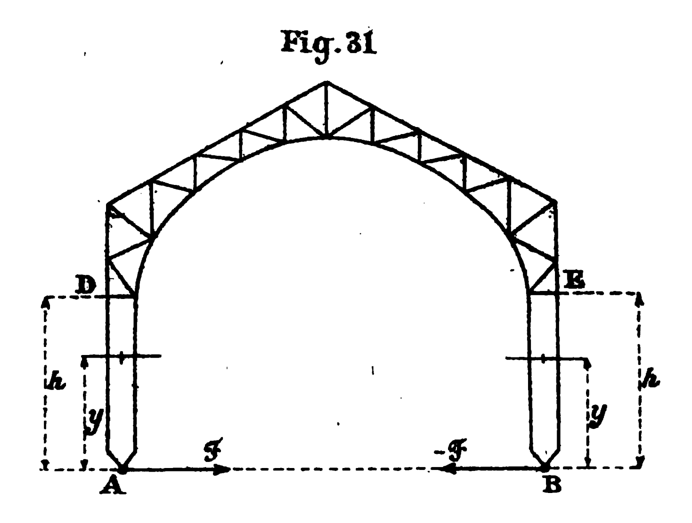
$$Q = \frac{\sum_1^n \mathcal{N}\left(E\delta\tau - \frac{N_r}{\Omega}\right) s}{\frac{1}{\mathcal{F}} \sum_1^n \frac{\mathcal{N}^2}{\Omega} s}.$$

On remarquera que les efforts N_r sont précisément ceux qui seraient développés par les charges, dans les barres du système, si l'arc reposait sur deux appuis simples; ils s'obtiennent aisément, comme ceux $\mathcal{N}$, par une épure de Cremona.

26. — FERME DE DION A TREILLIS SIMPLE, AVEC PILIERS A AME PLEINE, REPOSANT SUR DEUX ROTULES (*fig. 31*).

Cette construction est un arc à deux rotules, partie à âme pleine et partie en treillis; elle est *extérieurement* hyperstatique. Comme au n° 25, pour former l'équation de condition

Fig. 31



permettant de calculer la poussée Q, il faut exprimer que les points d'appui à rotule A et B ne prennent aucun déplacement suivant AB.

A cet effet, appliquons l'équation générale de l'élasticité sous sa forme 2 *bis* (n° 6) qui convient aux systèmes de pièces soumises à la flexion plane, en adoptant comme forces auxiliaires deux forces $+\mathcal{F}$ et $-\mathcal{F}$ égales et opposées, appliquées respectivement aux points A et B de l'arc préalablement ramené à sa température de pose, débarrassé des charges et privé de ses appuis. Il vient immédiatement, si l'on néglige les déformations de l'ordre de l'effort tranchant,

$$\sum_{1}^{n} \int_{0}^{s} \left[\mathcal{N} \left(\frac{N}{E\Omega} - \delta\tau \right) + \mathcal{M} \frac{M}{EI} \right] ds = 0,$$

puisque les déplacements des points A et B sont nuls.

Dans la somme $\sum_1^n$, séparons les termes relatifs aux deux piliers et ceux relatifs à la ferme en treillis, et tenons compte de ce que, dans les diverses barres de ladite ferme, M et $\mathfrak{M}$ sont nuls, si on suppose ces barres articulées entre elles; nous obtenons ainsi, en désignant par m le nombre de barres de la ferme (diagonales, montants et éléments de membrures)

$$\left.\begin{array}{l}\int_A^D\left[\mathfrak{N}\left(\frac{N}{E\Omega}-\delta\tau\right)ds+\mathfrak{M}\frac{M}{EI}\right]ds+\sum_1^m\mathfrak{N}\left(\frac{N}{E\Omega}-\delta\tau\right)s\\+\int_E^B\left[\mathfrak{N}\left(\frac{N}{E\Omega}-\delta\tau\right)ds+\mathfrak{M}\frac{M}{EI}\right]ds=0.\end{array}\right\}$$

Or, dans une section quelconque du pilier AD ou du pilier BE, d'ordonnée y mesurée à partir de AB, on a, sous l'action des forces auxiliaires $\mathfrak{F}$ et $-\mathfrak{F}$,

$$\mathfrak{N}=0,\qquad \mathfrak{M}=-\mathfrak{F}y.$$

D'autre part, dans le pilier AD,

$$ds=-dy$$

et dans celui BE,

$$ds=dy.$$

Donc, en appelant h la hauteur des deux piliers, on voit que les intégrales relatives à ces piliers se réduisent, l'une et l'autre, à

$$-\mathfrak{F}\int_0^h\frac{My}{EI}dy.$$

Et l'équation de condition devient, dès lors,

$$-2\mathfrak{F}\int_0^h\frac{My}{EI}dy+\sum_1^m\mathfrak{N}\left(\frac{N}{E\Omega}-\delta\tau\right)s=0. \qquad [1]$$

Pour y mettre en évidence la poussée inconnue Q, remarquons que, dans les piliers,

$$M=-Qy;$$

et que, dans la ferme en treillis,

$$N = N_r + \frac{\mathcal{N}}{\mathcal{F}} Q,$$

comme au n° 25.

En substituant ces valeurs de M et de N dans l'équation [1], il vient

$$Q = \frac{\frac{1}{\mathcal{F}} \sum_{1}^{m} \mathcal{N} \left(E\delta\tau - \frac{N_r}{\Omega} \right) s}{\frac{1}{\mathcal{F}^2} \sum_{1}^{m} \frac{\mathcal{N}^2 s}{\Omega} + 2 \int_0^h \frac{y^2 dy}{I}}.$$

Les efforts $\mathcal{N}$ produits dans les barres de la ferme, par les deux forces $\mathcal{F}$ et $-\mathcal{F}$, s'obtiennent facilement par une épure de Cremona.

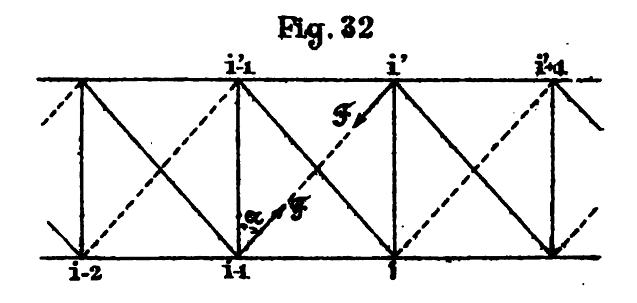
Les efforts N_r sont ceux qui seraient développés dans ces mêmes barres, sous l'action des charges, si A et B étaient des appuis simples; ils se déterminent également par une épure de Cremona.

27. — Poutre droite en treillis, a nœuds articulés et a barres surabondantes.

Ce système est *intérieurement* hyperstatique.

Nous supposerons que le treillis est double (*fig.* 32).

Fig. 32



Soient :

N_i, $N_{i'}$, les efforts développés respectivement dans la membrure inférieure $(i-1, i)$ et dans la membrure supérieure $(i'-1, i')$ d'un panneau quelconque;

S_i, $S_{i'}$, les sections de ces membrures;

a, leur longueur commune mesurée entre nœuds;

n_{i-1}, n_i, les efforts dans les deux montants $(i-1, i'-1)$, (i, i') du même panneau;

ω_{i-1}, ω_i, les sections de ces montants;

h, leur longueur commune;

$\mathcal{N}_i$, $\mathcal{N}_{i'}$, les efforts dans les deux diagonales $(i'-1, i)$, $(i-1, i')$ du dit panneau (l'indice affectant la lettre $\mathcal{N}$ est le numéro du nœud d'attache de l'extrémité de droite de la diagonale correspondante);

Ω_i, $\Omega_{i'}$, les sections de ces diagonales;

d, leur longueur commune;

α, l'angle de la direction de ces diagonales avec celle des montants.

Les six efforts susmentionnés sont statiquement indéterminés : l'une des deux diagonales est surabondante. Mais la considération de l'élasticité permet d'établir une relation simple entre ces six efforts et, par suite, de lever l'indétermination.

Cette relation s'obtient en exprimant que le raccourcissement (ou l'allongement) élastique de la diagonale $(i-1, i')$ est égal au rapprochement (ou à l'éloignement) subi par les deux nœuds $(i-1)$ et i', par l'effet des modifications élastiques des longueurs des cinq autres barres du panneau.

Pour calculer ce rapprochement au moyen de l'équation générale de l'élasticité, rendons le système isostatique par la suppression de ses appuis et de toutes les diagonales parallèles à celle $(i-1, i')$ y compris cette dernière, puis appliquons aux nœuds $(i-1)$ et i' deux forces auxiliaires $\mathcal{F}$ et $-\mathcal{F}$ égales et opposées, lesquelles forment un système en équilibre.

Ces forces auxiliaires produisent dans les barres du système isostatique les efforts $\mathcal{N}$ suivants :

Membrure inférieure ($i - 1,\ i$) et membrure supérieure ($i' - 1,\ i'$) :

$$\mathfrak{N} = + \mathfrak{T} \sin \alpha;$$

Montants ($i - 1,\ i' - 1$) et ($i,\ i$)

$$\mathfrak{N} = + \mathfrak{T} \cos \alpha;$$

Diagonale ($i' - 1,\ i$):

$$\mathfrak{N} = - \mathfrak{T}.$$

Dans les autres barres, les efforts $\mathfrak{N}$ sont nuls.

D'autre part, appelons :

λ_{i-1} le déplacement élastique absolu du nœud ($i - 1$) du système hyperstatique donné, en projection sur la direction $i - 1,\ i'$, déplacement compté positivement dans le sens $i - 1,\ i'$, négativement dans le sens contraire;

$\lambda_{i'}$ le déplacement similaire du nœud i'.

Cela posé, l'équation générale [2 *ter*] n° 7, qui convient aux systèmes articulés, donne immédiatement, en y supprimant le terme relatif à la variation de température, laquelle ne modifie pas les tensions si elle est la même pour toutes les barres,

$$\left.\begin{aligned} \mathfrak{T}(\lambda_{i-1} - \lambda_{i'}) = {} & \mathfrak{T} \sin \alpha \frac{N_i}{ES_i} a + \mathfrak{T} \sin \alpha \frac{N_{i'}}{ES_{i'}} a \\ & + \mathfrak{T} \cos \alpha \frac{n_{i-1}}{E\omega_{i-1}} h + \mathfrak{T} \cos \alpha \frac{n_i}{E\omega_i} h \\ & - \mathfrak{T} \frac{\boldsymbol{\mathcal{N}}_i}{E\Omega_i} d. \end{aligned}\right\} \quad [1]$$

Or, $\lambda_{i-1} - \lambda_{i'}$ est précisément le rapprochement élastique des deux nœuds $i - 1,\ i'$, c'est-à-dire le raccourcissement de la diagonale ($i - 1,\ i'$), raccourcissement qui est donné en fonction de la tension $\boldsymbol{\mathcal{N}}_{i'}$ dans cette diagonale, par la formule

$$(\lambda_{i-1} - \lambda_{i'}) = \frac{\boldsymbol{\mathcal{N}}_{i'}}{E\Omega_{i'}} d.$$

En substituant dans l'équation [1] et en remarquant que $a = d \sin \alpha$, $h = d \cos \alpha$, on trouve :

$$\sin^2 \alpha \left(\frac{N_i}{S_i} + \frac{N_{i'}}{S_{i'}} \right) + \cos^2 \alpha \left(\frac{n_{i-1}}{\omega_{i-1}} + \frac{n_i}{\omega_i} \right) - \left(\frac{\mathcal{N}_i}{\Omega_i} + \frac{\mathcal{N}_{i'}}{\Omega_{i'}} \right) = 0.$$

Telle est la relation cherchée, qui a lieu entre les efforts développés dans les six barres d'un même panneau.

En écrivant cette relation pour trois panneaux consécutifs de la poutre et en y adjoignant celles fournies par la Statique pure, on forme un système qui conduit, par une élimination simple, à une équation contenant seulement les tensions $\mathcal{N}_{i'-1}$, $\mathcal{N}_{i'}$, $\mathcal{N}_{i'-1}$ dans les trois barres $(i-2, i'-1)$, $(i-1, i')$, $(i, i'+1)$; c'est l'équation dite des *trois tensions*, établie par Boyer dans son mémoire sur le *Viaduc de Gabarit* (1888).

28. — Arc a deux rotules, supportant une poutre continue.

La poutre continue $B_0B_1 \ldots B_n$ *(fig. 33)* repose, au moyen d'appareils d'appui à dilatation, sur les palées verticales A_0B_0, $A_1B_1, \ldots$, A_nB_n, lesquelles sont fixées à leur pied sur l'arc.

Le système est soumis à des charges verticales appliquées à la poutre continue et à une variation de température de τ degrés comptée à partir de la température de pose.

Ce système est *extérieurement* hyperstatique, parce que la poussée de l'arc est statiquement indéterminée ; il est aussi *intérieurement* hyperstatique, parce qu'alors même que cette poussée serait connue, les réactions mutuelles entre les palées, la poutre continue et l'arc n'en resteraient pas moins statiquement indéterminées.

Les équations du problème s'obtiennent en exprimant que, dans sa déformation élastique, le système satisfait aux conditions suivantes :

1° *La corde* A_0A_n *de l'arc ne change pas de longueur*, ce qui conduit évidemment à la relation établie au n° 21 pour l'arc à deux rotules, relation qui, abstraction faite du terme relatif à l'effort tranchant, qu'on peut négliger, est

$$\int_{A_0}^{A_n} \frac{N \cos \alpha}{E\Omega} ds - \delta \tau l - \int_{A_0}^{A_n} \frac{My}{EI} ds = 0. \qquad [A]$$

Fig. 33

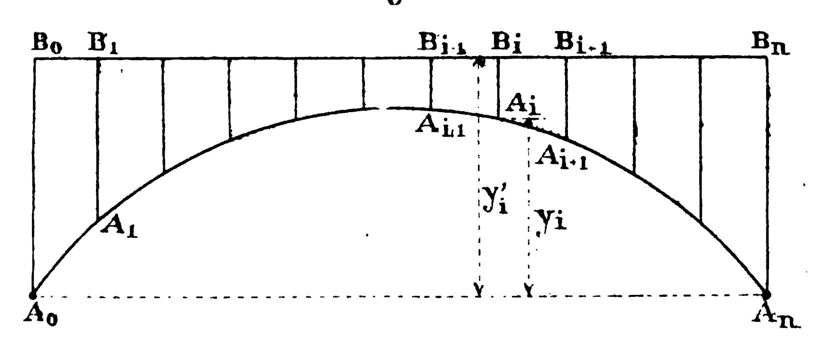


Fig. 34

2° *La poutre supérieure est continue aux points* B_1, B_2,... B_i... B_{n-1}, *où elle prend appui sur les* $(n-1)$ *palées intermédiaires.* Nous allons exprimer la continuité en l'un de ces points, B_i, par exemple, au moyen de l'équation générale de l'élasticité, sous la forme [2 *bis*] du n° 6, qui, si on néglige les déformations de l'ordre de la compression normale et de l'effort tranchant, s'écrit

$$\sum \mathcal{F}\lambda + \sum \mathcal{C}\varphi = \sum \int_0^s \left(-\mathcal{N}\delta\tau + \mathfrak{M}\frac{M}{EI}\right) ds. \qquad [1]$$

A cet effet, rendons le système isostatique : 1° en supprimant ses appuis à rotules A_0 et A_n; 2° en coupant la poutre supérieure à ses points d'appuis intermédiaires B_1..., B_i..., B_{n-1} sur les palées (*fig. 34*). Puis, appliquons sur la section extrême (B_i) de la travée $B_{i-1}B_i$ un couple auxiliaire $\mathcal{C}$ et sur la section extrême (B_i) de la travée B_iB_{i+1} un couple auxiliaire $-\mathcal{C}$. Ces deux couples s'équilibrent sur le système isostatique. Ils ne déterminent aucun effort dans les éléments du système qui précèdent la palée $A_{i-1}B_{i-1}$ et dans ceux qui suivent la palée $A_{i+1}B_{i+1}$; de sorte qu'en toute section de ces éléments

$$\mathfrak{M} = 0, \qquad \mathcal{N} = 0. \qquad [2]$$

Dans les éléments compris entre ces deux palées, ils produisent :

1° *Dans la travée* $B_{i-1}B_i$, des moments de flexion ayant pour expression, en toute section d'abscisse x mesurée à partir de B_{i-1},

$$\mathfrak{M} = -\frac{\mathcal{C}x}{l_i}; \qquad [3]$$

2° *Dans la travée* B_iB_{i+1}, des moments de flexion ayant pour expression, en toute section d'abscisse x mesurée à partir de B_i,

$$\mathfrak{M} = -\frac{\mathcal{C}(l_{i+1}-x)}{l_{i+1}}; \qquad [4]$$

(les diagrammes de ces moments de flexion dans $B_{i-1}B_i$ et dans B_iB_{i+1} sont tracés à la partie supérieure de la figure 34);

3° *Dans la palée* $A_{i-1}B_{i-1}$, une compression normale

$$\mathfrak{N} = -\frac{\mathfrak{C}}{l_i}; \qquad [5]$$

4° *Dans la palée* $A_{i+1}B_{i+1}$, une compression normale

$$\mathfrak{N} = -\frac{\mathfrak{C}}{l_{i+1}}; \qquad [6]$$

5° *Dans la palée* A_iB_i, une compression normale

$$\mathfrak{N} = +\frac{\mathfrak{C}}{l_i} + \frac{\mathfrak{C}}{l_{i+1}}; \qquad [7]$$

6° *Dans la partie d'arc* $A_{i-1}A_iA_{i+1}$, des moments de flexion et des compressions normales qui ont pour valeurs :

En toute section comprise entre A_{i-1} et A_i,

$$\mathfrak{M} = \frac{\mathfrak{C}x}{l_i}, \qquad [8]$$

$$\mathfrak{N} = \frac{\mathfrak{C}}{l_i}\frac{dy}{ds}; \qquad [9]$$

En toute section comprise entre A_i et A_{i+1},

$$\mathfrak{M} = \frac{\mathfrak{C}(l_{i+1} - x)}{l_{i+1}}, \qquad [10]$$

$$\mathfrak{N} = -\frac{\mathfrak{C}}{l_{i+1}}\frac{dy}{ds}; \qquad [11]$$

ce qui se voit immédiatement en remarquant que la susdite partie d'arc est en équilibre sous l'action de trois forces verticales $-\frac{\mathfrak{C}}{l_i}$, $\left(\frac{\mathfrak{C}}{l_i} + \frac{\mathfrak{C}}{l_{i+1}}\right)$ et $-\frac{\mathfrak{C}}{l_{i+1}}$ qui lui sont transmises respectivement aux points A_{i-1}, A_i, A_{i+1} par les palées.

(Le diagramme des moments de flexion $\mathfrak{M}$, dans la partie d'arc $A_{i-1}A_iA_{i+1}$ est tracé au bas de la figure 34.)

Cela posé, en appelant, *dans le système hyperstatique donné*, φ la rotation élastique de la section (B_i) de la poutre continue supérieure, on a

$$\sum \mathcal{F}\lambda + \sum \mathcal{C}\varphi - \mathcal{C}\varphi + (-\mathcal{C})\varphi = 0.$$

Et, par suite, l'équation [1] donne, si on y remplace $\mathfrak{M}$ et $\mathfrak{N}$ par leurs valeurs [2] à [11] et si on y supprime le facteur commun $\mathcal{C}$:

$$\left.\begin{aligned}
&\int_{B_{i-1}}^{B_i} -\frac{x}{l_i}\frac{M}{EI}dx + \int_{B_i}^{B_{i+1}} -\frac{(l_{i+1}-x)}{l_{i+1}}\frac{M}{EI}dx + \int_{A_{i-1}}^{B_{i-1}} \frac{1}{l_i}\delta\tau\, ds \\
&+ \int_{A_i}^{B_i} -\left(\frac{1}{l_i}+\frac{1}{l_{i+1}}\right)\delta\tau\, ds + \int_{A_{i+1}}^{B_{i+1}} \frac{1}{l_{i+1}}\delta\tau\, ds + \int_{A_{i-1}}^{A_i} \frac{x}{l_i}\frac{M}{EI}ds \\
&+ \int_{A_{i-1}}^{A_i} -\frac{1}{l_i}\frac{dy}{ds}\delta\tau\, ds + \int_{A_i}^{A_{i+1}} \frac{(l_{i+1}-x)}{l_{i+1}}\frac{M}{EI}ds + \int_{A_i}^{A_{i-1}} \frac{1}{l_{i+1}}\frac{dy}{ds}\delta\tau\, ds = 0.
\end{aligned}\right\}$$

Soient respectivement y_i et y'_i les ordonnées des points A_i et B_i mesurées à partir de la corde A_0A_n de l'arc; on a pour valeurs des intégrales renfermant la variation de température :

$$\int_{A_{i-1}}^{B_{i-1}} \frac{1}{l_i}\delta\tau\, ds = \delta\tau\frac{y'_{i-1}-y_{i-1}}{l_i},$$

$$\int_{A_i}^{B_i} -\left(\frac{1}{l_i}+\frac{1}{l_{i+1}}\right)\delta\tau\, ds = -\delta\tau\left(\frac{1}{l_i}+\frac{1}{l_{i+1}}\right)(y'_i-y_i),$$

$$\int_{A_{i+1}}^{B_{i+1}} \frac{1}{l_{i+1}}\delta\tau\, ds = \delta\tau\frac{y'_{i+1}-y_{i+1}}{l_{i+1}},$$

$$\int_{A_{i-1}}^{A_i} -\frac{1}{l_i}\frac{dy}{ds}\delta\tau\, ds = -\delta\tau\frac{y_i-y_{i-1}}{l_i},$$

$$\int_{A_i}^{A_{i+1}} \frac{1}{l_{i+1}}\frac{dy}{ds}\delta\tau\, ds = \delta\tau\frac{y_{i+1}-y_i}{l_{i+1}}.$$

La somme de ces cinq intégrales est égale à

$$\frac{y'_{i-1}}{l_i} - \left(\frac{1}{l_i}+\frac{1}{l_{i+1}}\right)y'_i + \frac{y'_{i+1}}{l_{i+1}},$$

quantité qui est nulle, parce que les trois points B_{i-1}, B_i et B_{i+1} sont en ligne droite.

Par conséquent, l'équation ci-dessus se réduit à

$$-\frac{1}{l_i}\int_{B_{i-1}}^{B_i}\frac{Mxdx}{I}-\frac{1}{l_{i+1}}\int_{B_i}^{B_{i+1}}\frac{M(l_{i+1}-x)dx}{I}$$

$$+\frac{1}{l_i}\int_{A_{i-1}}^{A_i}\frac{Mxds}{I}+\frac{1}{l_{i+1}}\int_{A_i}^{A_{i+1}}\frac{M(l_{i+1}-x)ds}{I}=0.$$

C'est l'équation de condition cherchée. On peut l'écrire sous la forme que voici

$$\frac{1}{l_i}\int_o^{l_i}\left(\frac{M}{I}-\frac{M'}{I'}\right)xdx+\frac{1}{l_{i+1}}\int_o^{l_{i+1}}\left(\frac{M}{I}-\frac{M'}{I'}\right)(l_{i+1}-x)dx=0, \quad [B]$$

en appelant M′ les moments de flexion dans l'arc pour les distinguer de ceux M dans la poutre continue, et en posant pour toute section de l'arc

$$I'=I\frac{dx}{ds}.$$

Dans son grand traité de *Statique graphique* et par une voie toute différente, M. Maurice Lévy a établi les équations [A] et [B], desquelles il en a déduit une ingénieuse méthode pour déterminer la poussée de l'arc et les moments de flexion dans la poutre continue et dans l'arc.

Conclusion.

29. — Les applications qui précèdent nous paraissent suffire amplement à montrer que l'équation générale faisant l'objet de la présente note constitue une synthèse complète de la théorie de l'Élasticité des constructions et qu'elle permet de résoudre aussi simplement que possible toutes les questions qui peuvent se présenter concernant la recherche des déformations élastiques et le calcul des efforts dans les constructions hyperstatiques.

ANNEXE

Sur les réactions de l'arc encastré à ses deux extrémités.

Ce qui suit est un résumé de la théorie inédite que, depuis l'année scolaire 1897-1898, nous enseignons à l'École Centrale des Arts et Manufactures, en ce qui concerne l'arc encastré à ses deux extrémités.

Ellipse centrale d'inertie de l'arc.

Attribuons à chaque élément ds de la fibre moyenne AGB de l'arc (*fig. 35*) une masse fictive égale à $\frac{ds}{I}$.

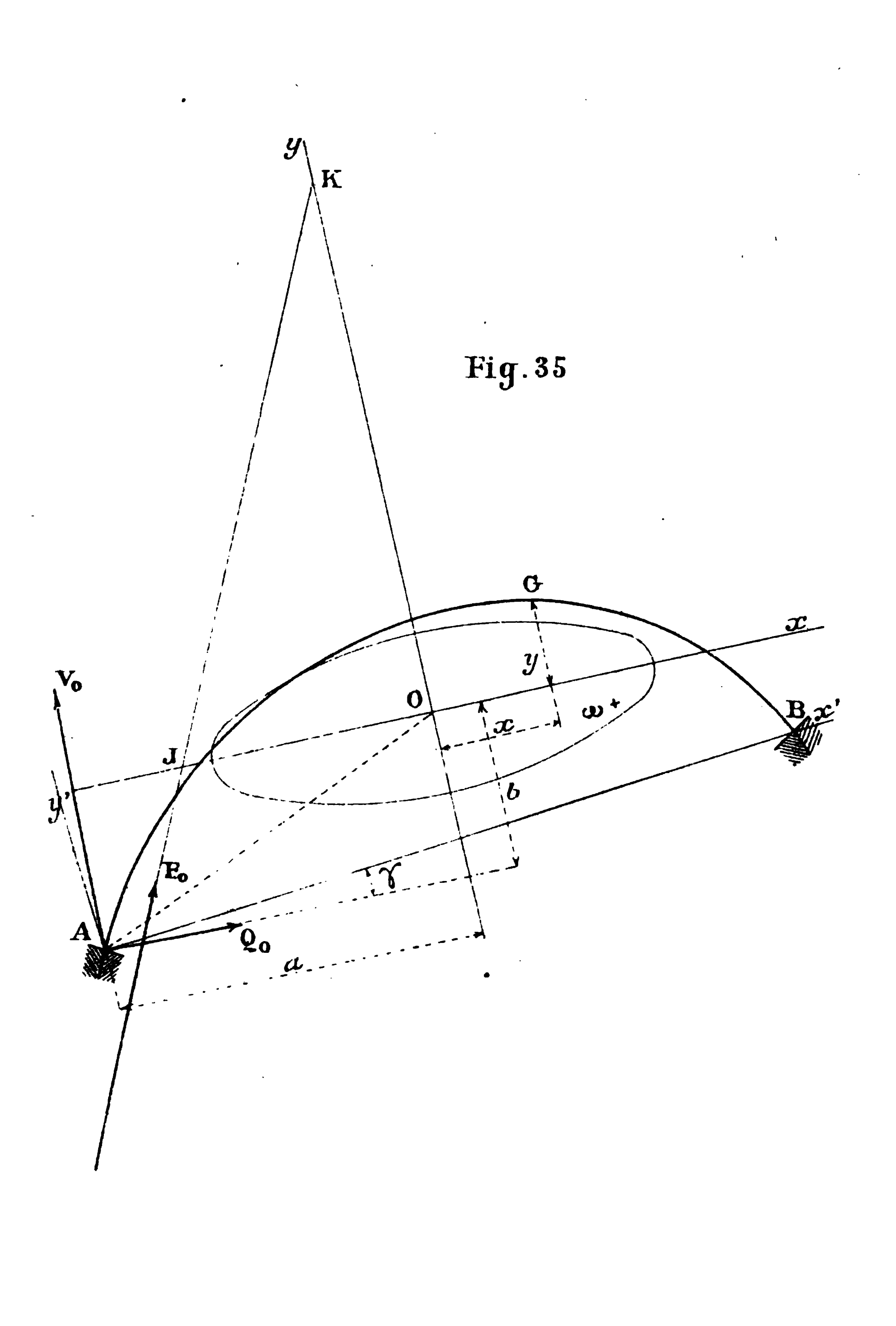
Ainsi assimilée à une ligne matérielle, la fibre moyenne possède un centre de gravité O et une ellipse centrale d'inertie. Soient Ox et Oy les directions des axes de cette ellipse, r_y et r_x leurs demi-grandeurs respectives, c'est-à-dire les rayons de giration autour de Oy et de Ox.

Ox, Oy, r_y et r_x ne dépendant que des dimensions de l'arc, leur détermination analytique ou graphique ne présente aucune difficulté.

Composantes de la réaction de l'encastrement A.

L'arc étant supposé soumis à des forces quelconques appliquées dans le plan de sa fibre moyenne, et à une variation de température de τ degrés mesurée à partir de la température de pose, proposons-nous de déterminer la réaction F_0 de l'encastrement A.

Cette réaction équivaut à ses deux composantes Q_0 et V_0 parallèles à Ox et Oy, appliquées au centre de gravité A de la section d'encastrement, et à son couple de translation M_0 en ce même



y
K
Fig. 35
G
x
y
O
ω+
B
x'
V₀
x
J
b
y'
E₀
γ
A
Q₀
a

point A. Ce sont ces trois quantités Q_0, V_0, M_0, statiquement indéterminées, qu'il s'agit de calculer.

A cet effet, reprenons les trois équations de condition [1], [2], [3] du n° 22, en y négligeant les termes de l'ordre de la compression normale et de l'effort tranchant et en y accentuant les lettres x et y qui représentent les coordonnées d'un point quelconque G de la fibre moyenne rapportées à la corde de AB de l'arc comme axe des x et à la normale en A à cette corde comme axe des y :

$$E\delta\tau l + \int_0^s \frac{My'}{I} ds = 0, \qquad [1]$$

$$\int_0^s \frac{Mx'}{I} ds = 0, \qquad [2]$$

$$\int_0^s \frac{M}{I} ds = 0. \qquad [3]$$

Soient :

a et b les grandeurs des projections du segment de droite AO sur les axes Ox et Oy de l'ellipse centrale d'inertie de l'arc ;

γ l'angle de Ax' *avec* Ox ;

x, y les coordonnées d'un point quelconque G de la fibre moyenne relativement aux axes Ox et Oy.

En projetant le contour a, b, x, y successivement sur Ax' et sur Ay', on obtient

$$x' = (a + x)\cos\gamma + (b + y)\sin\gamma,$$

$$y' = -(a + x)\sin\gamma + (b + y)\cos\gamma.$$

Substituons dans les équations [1] et [2], en tenant compte de [3] ; il vient

$$E\delta\tau l - \sin\gamma \int_0^s \frac{Mx}{I} ds + \cos\gamma \int_0^s \frac{My}{I} ds = 0,$$

$$\cos\gamma \int_0^s \frac{Mx}{I} ds + \sin\gamma \int_0^s \frac{My}{I} ds = 0.$$

Par élimination successive des deux intégrales différentes

qu'elles renferment, ces deux équations se transforment en les suivantes [1'] et [2'], auxquelles nous adjoignons l'équation [3] qui n'est pas affectée par le changement de coordonnées.

$$E\delta\tau l \cos\gamma + \int_0^s \frac{My}{I} ds = 0, \qquad [1']$$

$$E\delta\tau l \sin\gamma - \int_0^s \frac{Mx}{I} ds = 0, \qquad [2']$$

$$\int_0^s \frac{M}{I} ds = 0. \qquad [3']$$

Cela posé, le moment de flexion M en toute section de centre de gravité G, a pour expression

$$M = M_0 + V_0(a + x) - Q_0(b + y) + \mu,$$

μ désignant la somme des moments par rapport à G des forces extérieures *directement* appliquées sur la partie AG de l'arc, c'est-à-dire le moment de flexion qui serait produit en G si l'arc était libre en A, tout en restant encastré en B.

Si on substitue cette valeur de M dans les équations [1'], [2'], [3'], et si on observe qu'en vertu de propriétés connues du centre de gravité et des axes principaux d'inertie,

$$\int_0^s \frac{xds}{I} = 0, \qquad \int_0^s \frac{yds}{I} = 0, \qquad \int_0^s \frac{xyds}{I} = 0,$$

on trouve

$$E\delta\tau l \cos\gamma - Q_0 \int_0^s \frac{y^2 ds}{I} + \int_0^s \frac{\mu y ds}{I} = 0, \qquad [1'']$$

$$-E\delta\tau l \sin\gamma + V_0 \int_0^s \frac{x^2 ds}{I} + \int_0^s \frac{\mu x ds}{I} = 0. \qquad [2'']$$

$$(M_0 + aV_0 - bQ_0) \int_0^s \frac{ds}{I} + \int_0^s \frac{\mu ds}{I} = 0. \qquad [3'']$$

La première de ces trois équations donne Q_0, la seconde V_0, et la troisième fournit ensuite M_0.

LIGNE D'ACTION DE LA RÉACTION DE L'ENCASTREMENT A, DUE AUX FORCES EXTÉRIEURES SEULES, ABSTRACTION FAITE DE L'EFFET DE LA VARIATION DE TEMPÉRATURE.

On peut étudier séparément l'effet des forces extérieures et celui de la variation de température. Si on considère le premier seulement de ces deux effets, il faut faire $\tau = 0$ dans les équations [1″], [2″], [3″], qui donnent dès lors

$$Q_0 = \frac{\int_0^s \frac{\mu y ds}{I}}{\int_0^s \frac{y^2 ds}{I}},$$

$$V_0 = -\frac{\int_0^s \frac{\mu x ds}{I}}{\int_0^s \frac{x^2 ds}{I}},$$

$$M_0 + aV_0 - bQ_0 = -\frac{\int_0^s \frac{\mu ds}{I}}{\int_0^s \frac{ds}{I}}.$$

Soient maintenant :

ω le centre de forces fictives parallèles égales à $\frac{\mu ds}{I}$, appliquées à chaque élément ds de la fibre moyenne;

p et q les coordonnées de ce centre relativement aux axes Ox et Oy;

on a

$$\int_0^s \frac{\mu y ds}{I} = q \int_0^s \frac{\mu ds}{I},$$

$$\int_0^s \frac{\mu x ds}{I} = p \int_0^s \frac{\mu ds}{I}.$$

D'autre part

$$\int_0^s \frac{y^2ds}{I} = r_x^2 \int_0^s \frac{ds}{I},$$

$$\int_0^s \frac{x^2ds}{I} = r_y^2 \int_0^s \frac{ds}{I}.$$

Par conséquent les trois équations en Q_0, V_0 et M_0 peuvent s'écrire

$$Q_0 = \frac{q\int_0^s \frac{\mu ds}{I}}{r_x^2\int_0^s \frac{ds}{I}}; \qquad [4]$$

$$V_0 = -\frac{p\int_0^s \frac{\mu ds}{I}}{r_y^2\int_0^s \frac{ds}{I}}; \qquad [5]$$

$$M_0 + aV_0 - bQ_0 = -\frac{\int_0^s \frac{\mu ds}{I}}{\int_0^s \frac{ds}{I}}. \qquad [6]$$

Remarquons, à présent, que dans cette dernière équation le premier membre représente la somme des moments de M_0, V_0 et Q_0 par rapport à O, c'est-à-dire le moment par rapport à ce point, de la réaction F_0. Or, ce moment a aussi pour expression

$$Q_0q' \quad \text{et} \quad -V_0p',$$

q' et p' désignant respectivement, en grandeur et *en signe*, l'ordonnée à l'origine OK et l'abscisse à l'origine OJ de la ligne d'action JK de F_0. Donc

$$Q_0q' = -V_0p' = -\frac{\int_0^s \frac{\mu ds}{I}}{\int_0^s \frac{ds}{I}}.$$

Si, dans ces deux relations, on remplace Q_0 et V_0 par leurs valeurs [4] et [5], on trouve, toutes réductions faites,

$$qq' = -r_x^2, \qquad pp' = -r_y^2.$$

Ces deux équations montrent que, relativement à l'ellipse centrale d'inertie de l'arc, les points K et J sont respectivement les antipôles de la parallèle à Ox et de la parallèle à Oy menées par le point ω.

Or, la droite joignant les antipôles de deux droites est l'antipolaire du point d'intersection de ces deux droites. Donc, JK est l'antipolaire de ω. D'où :

Théorème.

La réaction F_0 *de l'encastrement* A *de l'arc, due aux forces extérieures seules, est dirigée suivant l'antipolaire par rapport à l'ellipse centrale d'inertie de l'arc, du centre* ω *de forces fictives parallèles* $\frac{\mu ds}{I}$ *appliquées à chaque élément* ds *de la fibre moyenne,* μ *désignant le moment de flexion qui serait produit en chaque point de l'arc, si celui-ci était libre en* A *tout en restant encastré en* B.

Les moments μ s'obtiennent très simplement soit analytiquement, soit graphiquement; il en est de même du point ω et, par suite, de la ligne d'action de F_0.

Cette dernière ligne, une fois connue, il suffit de déterminer soit Q_0 par la formule [4], soit V_0 par la formule [5], pour avoir F_0 en grandeur, direction et sens.

Ligne d'action de la réaction de l'encastrement A de l'arc, due exclusivement aux variations de température.

Pour étudier l'effet exclusif des variations de température, indépendamment de celui des forces extérieures, il faut faire

$\mu = o$ dans les équations [1''], [2''], [3''] qui donnent dès lors,

$$Q_\tau = \frac{E\delta\tau l \cos\gamma}{r_x^2 \int_o^s \frac{ds}{I}}; \qquad [7]$$

$$V_\tau = \frac{E\delta\tau l \sin\gamma}{r_y^2 \int_o^s \frac{ds}{I}}; \qquad [8]$$

$$M_\tau + aV_\tau - bQ_\tau = 0, \qquad [9]$$

l'indice o étant remplacé par l'indice τ pour exprimer qu'il s'agit ici des effets calorifiques.

L'équation [9] montre que le moment par rapport au point O, de la réaction F_τ de l'encastrement A est nul; par conséquent, cette réaction passe par le centre de l'ellipse centrale d'inertie de l'arc.

D'autre part, de [7] et [8] on tire

$$\left(\frac{V_\tau}{Q_\tau}\right)\left(-\frac{1}{\tan\gamma}\right) = -\frac{r_x^2}{r_y^2};$$

Or

$\frac{V_\tau}{Q_\tau}$ est le coefficient angulaire de la ligne d'action de F_τ ;

$-\frac{1}{\tan\gamma}$ est, dans le système d'axes Ox et Oy, celui des normales à la corde AB de l'arc;

r_x et r_y sont respectivement le demi-axe suivant Oy et le demi-axe suivant Ox de l'ellipse centrale d'inertie de l'arc.

Donc, la relation ci-dessus exprime que la direction de F_τ et celle des normales à la corde AB sont conjuguées dans la susdite ellipse.

Et comme il a été montré que F_τ passe par le centre de cette même ellipse, on voit que :

Théorème.

La réaction F_τ *de l'encastrement* A (*comme du reste celle égale et contraire de l'encastrement* B), *due exclusivement aux effets calorifiques, est*

dirigée suivant le diamètre de l'ellipse centrale d'inertie de l'arc, conjugué aux normales à la corde de l'arc.

La ligne d'action de F_τ est donc facile à obtenir.

Il suffit ensuite de déterminer Q_τ par la formule [7] pour avoir F_τ en grandeur, direction et sens.

Remarque. — Dans la théorie qui précède, nous avons négligé les déformations élastiques dues à la compression normale et à l'effort tranchant; mais il est facile de les y introduire par le procédé général exposé dans notre *Mémoire sur la Statique graphique des arcs élastiques* (Comptes rendus de l'Académie des Sciences du 31 mars 1890 et Bulletin de la Société des Ingénieurs Civils de France d'Avril 1890).

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE IV.

CHAPITRE V.

ANNEXE.

CHRONIQUE

N° 334.

SOMMAIRE. — La catastrophe du pont de Québec. — Utilisation des chutes du Rhin. — Le canal de Suez en 1906. — Le port de Londres. — Conservation du charbon sous l'eau. — La production de la menthe au Japon.

La catastrophe du pont de Québec. — Nous avons parlé, dans la Chronique de novembre-décembre 1905, page 799, du grand pont en construction sur le Saint-Laurent. Cet ouvrage qui franchit le fleuve à 300 km de la mer, se trouve à 10 km en amont de Québec et à 265 en aval de Montréal.

Le pont de Québec, dont les dimensions dépassent celles de tous les ouvrages de ce genre existants est établi dans le système cantilever. Sa longueur totale est de 988,20 m dont 854 m pour le pont proprement dit et 134,20 pour deux viaducs d'approche. Le pont est constitué par deux poutres énormes reposant vers leur milieu chacune sur une pile en rivière; une des extrémités celle du côté de la terre est ancrée à une pile d'amarrage tandis que l'autre partie se dirige en porte à faux vers le milieu du fleuve. Les extrémités libres de ces poutres supportent une poutre suspendue qui forme la partie médiane. Nous rappelons ici les dimensions principales de cet ouvrage colossal.

Longueur des viaducs d'approche		67,10 m
—	des bras d'ancrage	152,50
—	des bras en porte à faux	171,56
—	de chaque poutre principale	324,06
—	de la poutre suspendue	205,87
Ouverture centrale		549,00
Largeur de centre en centre des poutres		20,43
Passage libre au-dessus des hautes mers		45,75

Le poids total de la partie métallique est estimé à 35 000 t métriques ; les pièces les plus lourdes à monter pèsent 91 t et leurs dimensions maxima à l'arrivée au chantier de montage sont de 32 m.

Les poutres principales sont établies en treillis à grandes mailles ou plutôt les membrures inférieure et supérieure sont réunies par des montants verticaux et des barres en diagonale, ces dernières relativement peu nombreuses. Les membrures ou cordes inférieures tournent leur concavité vers l'eau et les cordes supérieures la tournent vers le ciel. Les premières, dont la forme générale est représentée dans la partie centrale de la figure 2, ont une section transversale rectangulaire de 1,71 × 1,38 m et sont formées de quatre files longitudinales composées de cinq tôles verticales réunies par des rivets et donnant une épaisseur de 0,10 m ; les files extérieures portent en haut et en bas une cornière qui sert à

attacher un treillis de barres de fer plat réunissant le tout dans deux plans horizontaux, l'un inférieur, l'autre supérieur. Les cordes supérieures sont formées de barres d'acier réunies ensemble et avec les montants verticaux et les diagonales par des broches d'articulation. On voit que les cordes inférieures sont faites pour résister à la compression et les cordes supérieures à la traction. Les montants verticaux et les diagonales sont également reliés aux cordes inférieures par des broches d'articulation qui traversent les quatre épaisseurs de tole dont nous avons parlé. Les broches d'articulation varient de grosseur entre 0,225 et 0,610 m de diamètre; certaines traversent jusqu'à cinquante-six épaisseurs de tôles ou fers.

Les grands piliers verticaux sur les piles de support ont une hauteur verticale totale de 96,07 m, ils ont une section transversale rectangulaire de 1,52 × 3,05 m et sont formés de barres réunies par des treillis. Les piliers de droite et de gauche sont réunis à des intervalles d'environ 15 m par des entretoises avec croix de Saint-André.

Tous ces détails sont nécessaires pour l'intelligence de ce qui va suivre.

Le pont a été étudié et est exécuté par la Phoenix Bridge Company de Phoenixville, une des plus importantes maisons de construction des États-Unis. L'exécution des piles a fait l'objet d'un contrat spécial. Le montage de la partie métallique a commencé le 22 juillet 1905; il a été opéré pour la travée d'ancrage à l'aide d'échafaudages et pour la partie en rivière en porte à faux; à cet effet un pont roulant; qui ne pesait pas moins de 900 t, roulait sur la partie déjà exécutée et prenait sur le tablier les pièces à ajouter à la partie en porte à faux

A la fin d'août, on avait exécuté les deux poutres de la partie sud et on avait monté trois panneaux de la poutre suspendue centrale qui comporte douze panneaux. Le montage n'était pas encore commencé sur la partie nord du pont et on se préparait à y procéder et on devait y transporter le grand pont roulant lequel avait été, en prévision, reculé un peu et on se servait pour le montage des poutres centrales d'un pont roulant plus petit pesant seulement 250 t lequel était sur le troisième panneau des poutres centrales pour le montage du quatrième panneau. La figure 1 représente la partie montée avec l'amorce de ce quatrième panneau de la poutre centrale

Le 29 août, à 5 heures et demie du soir, au moment où les ouvriers se préparaient à quitter le travail, on entendit une détonation semblable à un coup de canon; des témoins, placés à quelque distance, virent la partie en porte à faux du pont s'incliner jusqu'à toucher l'eau, les ponts roulants de montage tomber dans le fleuve en glissant sur la pente et la charpente métallique entière s'effondrer, une partie sur le sol de la berge entre la pile de support et la pile d'ancrage et l'autre dans le fleuve où elle disparut sous l'eau profonde de 15 à 40 m. Il ne s'écoula pas, dit-on, 40 secondes entre la détonation et la chute totale de la charpente. Sur 80 personnes qui se trouvaient sur le chantier et au nombre desquelles se trouvait l'état-major de l'entreprise, 75 périrent. Le pont dont la partie montée ne pesait pas moins de 15000 t entraina avec lui une locomotive du poids de 40 t et deux wagons chargés de

pièces métalliques qui se trouvaient sur le tablier. La maçonnerie des piles n'a pas éprouvé de dommages sérieux, mais les tours métalliques de la pile d'ancrage qui avaient environ 30 m de hauteur furent renversées sans subir d'ailleurs d'avaries graves.

Cet événement causa la plus vive impression aux États-Unis et au Canada. Les journaux américains le qualifient « The greatest engineering disaster » ; il est en effet beaucoup plus grave que la chute du pont du Tay en ce que celui-ci a pu tomber par suite de défauts de construction, mais au moins au milieu d'une tempête formidable, tandis que le pont du Saint-Laurent s'est effondré pendant le montage, par un temps absolument calme et sans l'intervention d'aucun phénomène extérieur.

Le gouvernement canadien a immédiatement chargé une commission de rechercher les causes du désastre et d'apporter, s'il y a lieu, au projet qui doit absolument être repris et mené à bien les modifications reconnues

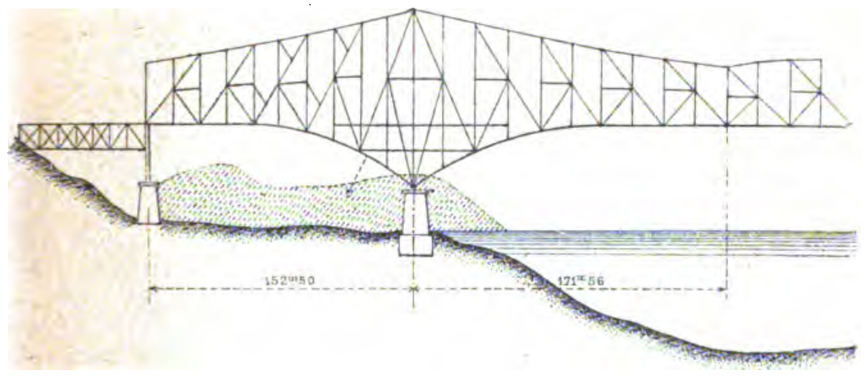


Fig.1

nécessaires. En attendant, les journaux se livrent à des discussions sans fin sur les causes probables de la catastrophe et contiennent de volumineuses correspondances où les auteurs exposent leurs idées sur ce sujet tout d'actualité avec d'autant plus d'abondance que ce serait, affirme-t-on, une honte pour le génie civil si on ne pouvait attribuer une cause claire et précise à la chute en cours de montage d'un ouvrage de dimensions sans précédents, mais dont la disposition n'offre en réalité aucune nouveauté.

Nous croyons devoir nous borner à indiquer les explications qui paraissent les plus vraisemblables. On doit écarter tout d'abord celles qui seraient basées sur une qualité inférieure du métal. Les spécifications relatives à ce métal, de l'acier naturellement, ont été dressées pour la Quebec Bridge Company par son ingénieur conseil, M. Théodore Cooper, spécialiste bien connu aux États-Unis. On a également parlé du poids considérable des deux ponts roulants placés à l'extrémité de la partie en porte à faux ; il est facile de voir que le poids de ces appareils est très inférieur à celui de la demi-poutre centrale terminée, dont doit être chargée la poutre cantilever, et de la surcharge.

Des recherches faites dans l'énorme amas de ferrailles entassées sur la berge et provenant de la travée d'ancrage ont amené à localiser le point de départ de la chute du pont. Ce point de départ se trouverait dans une pièce de la corde inférieure de gauche de la travée d'ancrage, pièce désignee sur le plan d'ensemble de montage sous le nom de A 9 L. (L est l'initiale du mot *left* qui signifie gauche comme la lettre R veut dire *right* c'est-à-dire droite) ; cette partie correspond au second panneau en partant de la pile de support: elle est marquée d'un trait dans la figure 1. Ce qui autorise cette supposition est que cette corde, dont la section est celle qui a été indiquée figure 2, a été retrouvée dans les débris, pliée en forme d'S, les deux extrémités de cette lettre se trouvant dans la direction primitive de l'axe longitudinal de cette pièce.

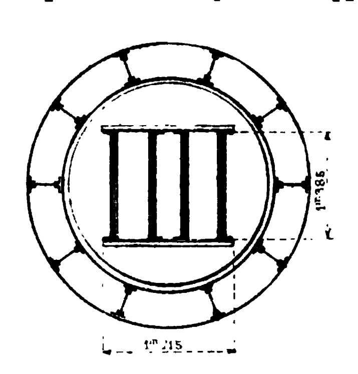


Fig.2

La partie correspondante du coté droit a été retrouvée également déformée de la même manière mais moins accentuée.

D'après les calculs, l'acier ne devait pas travailler à la compression dans ces cordes à plus de 10 à 11 kg mais il ne faut pas perdre de vue qu'il s'agit là d'une pièce de 17 m environ de longueur sans appuis latéraux soumise à la compression et dont la disposition parait laisser beaucoup à désirer, car on ne peut compter que sur les deux minces treillis des faces supérieure et inférieure pour assurer la solidarité des quatre assemblages de tole formant la partie résistante. On a invoqué de plus le fait que la veille de l'accident on avait reconnu que cette même partie de corde A 9 L présentait un gonflement latéral de 25 mm environ de flèche et que ce fait signalé à la direction supérieure des travaux avait déterminé celle-ci à faire suspendre le montage. L'ordre venait d'arriver quand la catastrophe s'est produite. On a dit aussi que cette pièce qui parait avoir été singulièrement malheureuse avait subi une chute de grande hauteur lors de son transport à pied d'œuvre par suite de la rupture du crochet de la grue.

Quoi qu'il en soit, il semble qu'il y a eu une certaine insuffisance de matière et de forme dans au moins une partie des pièces travaillant à la compression dans le pont de Québec. Un des nombreux correspondants dont nous avons parlé a eu l'idée de représenter ensemble, figure 2, les sections correspondantes des cordes inférieures du pont du Forth et de celui qui nous occupe; on voit que la section de ce dernier s'inscrit très facilement dans le cercle intérieur de la section du pont du Forth et il faut ajouter que, dans ce dernier, la portée des travées est moindre de 27,30 m que celle du pont du Saint-Laurent et que les cordes inférieures sont entretoisées sur de moindres distances.

Nous reviendrons sur ce sujet lorsque les résultats de l'enquête officielle seront connus, mais nous pouvons dès aujourd'hui ajouter à ce

qui précède les renseignements suivants qui nous parviennent au dernier moment.

L'*Engineering News*, dans son numéro du 31 octobre, reproduit une déposition faite par M. Théodore Cooper, Ingénieur-Conseil de la Quebec Bridge Company devant la Commission canadienne qui a séjourné à New-York, du 14 au 19 octobre. Cette déposition ne tient pas moins de treize colonnes du journal.

La plus grande partie a pour objet de définir le rôle de l'Ingénieur-Conseil et ses rapports avec la Phœnix Bridge Company, chargée de l'exécution de la partie métallique de l'ouvrage, rapports qui ont duré plusieurs années, car leurs débuts, pour l'objet dont il s'agit ici, remontent à 1899.

Sur le chapitre de la catastrophe, l'opinion de M. Th. Cooper est celle qui a été exposée plus haut; il l'attribue à un refoulement sur elle-même de la pièce A 9 L; cette pièce ayant pris une courbure initiale, cette courbure venant à s'accentuer, les treillis horizontaux supérieurs et inférieurs, seules liaisons entre les parties formant la corde, ont sauté, ce qui a produit l'explosion signalée; dès lors, les feuilles métalliques, devenues indépendantes, ont été refoulées par la compression. La corde droite a fait de même et la partie en porte à faux, n'étant plus retenue par le bas, s'est effondrée, de même que la partie d'ancrage.

M. Cooper admet que, lorsqu'on s'est aperçu que la partie A 9 L se courbait latéralement, il eût été facile d'y remédier par des consolidations provisoires; en trois heures, dit-il, et avec une dépense de 500 f de bois, on eut pu mettre l'ouvrage en état d'être continué sans danger et on eût évité une catastrophe sans précédent. Il considère que le personnel supérieur chargé de la direction du montage n'était pas suffisamment à la hauteur d'une tâche aussi importante. Il n'attaque pas la disposition générale du pont et même celle des détails, ce qui serait difficile puisque ces dispositions ont dû être acceptées par la Quebec Bridge Company, mais signale de graves imperfections dans la construction. Enfin, il se retranche derrière son âge avancé et l'état de sa santé, qui l'ont empêché de surveiller les travaux d'une manière suivie.

L'*Engineering News*, tout en signalant l'importance des déclarations de M. Th. Cooper, pense qu'on doit, avant de porter un jugement, attendre les explications contradictoires des constructeurs du pont, qui ont été recueillies par la Commission d'enquête, laquelle les fera connaître.

Utilisation des chutes du Rhin. — Laufenburg est une petite ville située à 35 km de Bâle. A cet endroit, le Rhin forme frontière entre l'Allemagne et la Suisse.

Dans la traversée de cette localité, le Rhin franchit une barrière naturelle de gneiss et de granit en formant une chute de 3 m et, plus loin, une série de rapides s'étendant sur une longueur de 1 km. Les digues, qui en amont et en aval sont hautes et escarpées, permettent la retenue des eaux de 9 à 10 m au-dessus de la hauteur normale.

Pendant la période de sécheresse, le débit n'est que de 260 m^3, alors qu'en temps de crue il atteint 5 000 m^3.

Depuis une quinzaine d'années, des négociations avaient été enta-

mées pour l'obtention de la concession des chutes dites de Laufen. mais la situation géographique et d'autres raisons furent causes du long retard apporté à la solution de la question.

La firme Felten et Lahmeyer, conjointement avec la Schweizerische Druckluft and Elektrizitäts-Gesellschaft, viennent d'être déclarées concessionnaires. Le projet adopté est celui dressé par M. de Ferranti, Ingénieur à Londres, qui, en 1890, avait étudié le rendement des chutes. Chacune des deux firmes précitées avaient précédemment déposé un projet : la première, le projet de Ferranti; la seconde, un projet dressé par M. Trautweiler, de Strasbourg.

Ce dernier projet provoquait la construction d'un barrage en maçonnerie traversant le Rhin en aval du pont de Laufenburg et de deux galeries d'amenée creusées dans les rochers ; les bâtiments de la station électrique étaient placés à l'issue de ces galeries, à l'endroit où commence la série de rapides cités plus haut. Cette disposition présente l'inconvénient de ne pouvoir utiliser toute la puissance des forces hydrauliques comme le permet le projet de Ferranti.

Ce dernier consiste dans la concentration des forces actuellement perdues, en un point situé à 1 200 m en aval de Laufenburg, par un barrage construit en travers du fleuve. Dans ce but, la section du lit sera élargie en faisant disparaître la barrière que franchissent les eaux à Laufenburg et en rectifiant les digues pour donner au fleuve une forme canalisée entre la ville et le barrage.

Partant de la rive gauche, le dispositif se compose :

1° D'une écluse de 30 m de longueur sur 9 m de largeur;

2° D'un barrage à trois culées et quatre ouvertures voûtées, munies de vannes en fer creuses, du système Stoney, mesurant chacune respectivement : la première, 20 m de largeur sur 12,50 m de hauteur; la deuxième, la plus importante, 20 m sur 17,50 m; la troisième et quatrième, 19,50 m sur 12,50 m;

La manœuvre des vannes sera assurée par la pression hydraulique portée à 120 atm par la station des pompes et amenée au barrage par une double conduite. Les cylindres des vannes seront placés dans la maçonnerie et l'eau sous pression y pénétrera par une ouverture dans le bélier;

3° De la station électrique accolée au barrage ou formant angle avec celui-ci, elle sera pourvue de dix turbines Francis à trois roues, développant chacune 1 500 ch, et de petites turbines pour la mise en mouvement des pompes. Deux des roues des grandes turbines déchargeront dans des conduites en béton et la troisième directement dans le déversoir.

L'aménagement des chambres des turbines sera tel qu'elles pourront être obturées du côté de l'amenée par une vanne hydraulique et du côté de la décharge par des portes mobiles actionnées à la main de façon à permettre la vidange. A cet effet, des pompes centrifuges seront reliées à une conduite générale communiquant aux chambres par des soupapes d'arrêt.

Deux grilles de modèles différents protégeront l'entrée des conduites d'amenée aux turbines. Le nettoyage de ces grilles pourra se faire soit

à la main, soit par la méthode suivante : la vanne antérieure de la chambre étant fermée et celle de séparation avec la chambre voisine ouverte, l'eau affluera de ce fait dans le sens opposé au sens normal, chassant dans le réservoir les matières accumulées contre la grille.

L'équipement électrique de l'usine se composera des appareils et machines nécessaires à pareille installation dont dix générateurs triphasés de 5 000 ch.

Les travaux seront très probablement entamés dans le courant de la présente année. Nous extrayons ce qui précède de la Chronique du *Bulletin de l'Union des Ingénieurs sortis des écoles spéciales de Louvain*, qui n'en indique pas l'origine. Nous pouvons ajouter qu'en vue de l'établissement futur de la navigation sur cette partie du Rhin, l'écluse dont il a été question plus haut sera faite de manière à pouvoir livrer passage à des bateaux de 600 t.

Le canal de Suez en 1906. — Le trafic du canal de Suez, qui avait quelque peu baissé en 1905, s'est relevé en 1906 et a surpassé même celui de 1904 qui était le plus considérable de tous les exercices écoulés jusque-là. Les recettes ont en effet atteint, en 1906, le total de 111 990 000 f contre un total de dépenses de 42 280 000 f, comprenant une somme de 4 millions passée au fonds d'amortissement et une d'environ 150 000 f pour assurances et imprévu.

Le coût d'établissement du canal était, au 31 décembre 1906, de 612 484 000 f, y compris 6 436 000 f représentant les travaux d'amélioration exécutés au cours de l'année 1906.

Pendant cette année, 3 975 navires ont transité avec un tonnage de 13 445 504 tx. On peut voir dans ces chiffres une nouvelle accentuation du fait de l'augmentation du tonnage et de la diminution du nombre des navires. Ainsi, en 1905, il avait transité 141 navires de plus, mais le tonnage total était inférieur de 311 400 tx, ce qui donne, pour 1905, un tonnage moyen de 3 191 tx et, en 1906, un de 3 382 tx par navire.

Les navires ayant passé le canal en 1906 se répartissent comme suit :

Navires de commerce chargés.	2 865	9 631 298 tx
— sur lest.	80	187 710
Paquebots-poste.	888	3 213 355
Navires de guerre.	98	222 363
Navires nolisés par des gouvernements . .	44	190 778
	3 975	13 445 504

Au point de vue des divers pavillons, on trouve les chiffres suivants :

Le maximum appartient au pavillon anglais avec 2 333 navires de 8 299 931 tx. L'Allemagne vient après avec 588 navires et 2 155 552 tx. La France vient au troisième rang avec 260 navires et 856 311 tx et la Hollande suit avec 202 navires et 561 322 tx. L'Italie ne compte que pour 82 navires et 181 235 tx.

A partir du 1er janvier 1908, le tirant d'eau maximum des navires passant le canal pourra atteindre 28 pieds (8,54 m) à la suite des dragages effectués qui ont porté la profondeur à 10,50 m. Ces travaux ont

consisté dans l'enlèvement à sec de 167 697 m³ de terre et sous l'eau de 2 602 716 m², dont 1 475 843 dans le canal et 1 126 873 dans l'avant-port de Port-Saïd.

Les travaux d'amélioration ont consisté dans l'augmentation de largeur et de profondeur du canal, dans l'exécution de nouveaux bassins, dans l'agrandissement des jetées de Suez, etc.

Les travaux de dragage dont l'importance est considérable, d'après les chiffres qui précèdent, sont effectués par les soins de la Compagnie qui possède un puissant matériel dont la valeur, d'après inventaire, y compris les accessoires, s'élève à 31 620 000 f.

Le trafic parait devoir suivre une marche ascendante, car les recettes, du 1er janvier au 21 mai 1907, présentaient un excédent de 870 000 f sur la période correspondante de 1906.

Le port de Londres. — Lors de l'introduction du Bill sur les Docks de Londres, on pouvait espérer qu'il serait possible d'arriver promptement à un arrangement permettant de réaliser les améliorations indispensables pour que Londres conservât sa position comme premier port du monde, rang qu'il occupe depuis environ 200 ans. Cet espoir ne s'est pas réalisé et cependant, sa situation, telle qu'elle est résumée comme suit par un correspondant du *Times* est très critique et la question exige une très prompte solution.

Les docks fonctionnent actuellement à la limite de leur capacité et il n'y a plus aucune place disponible pour une nouvelle ligne de grands vapeurs. Si le port de Londres a pu arriver à maintenir sa prééminence jusqu'ici, ce n'est pas grâce aux améliorations faites à la Tamise ou aux facilités données au commerce par les docks, mais parce que ce port appartient à une ville à immense population dont les besoins sont considérables, et qui est le centre financier et commercial de l'empire.

Londres a, de plus, une position très avantageuse; cette ville est située sur un fleuve à marée qui n'a pas de barre, mais l'augmentation toujours croissante des dimensions des navires le met dans une position difficile. Il y a une autre difficulté qui réside dans l'organisation administrative du port de Londres.

Les ports étrangers sont, sauf exception, sous la direction et le contrôle d'autorités nationales ou locales. Ainsi Brême et Hambourg sont administrés par les autorités de ces États. Rotterdam et Anvers le sont par les municipalités. Dans les ports français l'État a la surveillance avec le concours des Chambres de Commerce. A Londres, le port est administré par le Thames Conservancy et cette situation donne lieu à beaucoup de difficultés. Cette administration a été autorisée, il y a deux ans, par une loi à creuser un chenal de 305 m de largeur sur 9,15 m de profondeur aux basses mers entre le Nore et Gravesend sur une distance de 21 milles. Ce travail a été poursuivi et achevé en partie. Mais la profondeur de 9,15 m n'est pas suffisante pour permettre à la Tamise de recevoir les plus gros navires existant actuellement. De la mer au Nore il y a toujours assez d'eau, mais entre Gravesend et le Nore la profondeur actuelle n'est que de 7,68 à 7,95 m et même, par endroits, de 7,40 m. Entre Gravesend et les Royal Albert Docks la profondeur

varie entre 7,40 m et 4,90 m pour descendre même parfois à 4,60. Des Royal Albert Docks à Millwall il y a de 4,30 à 5,50 avec, parfois, 3,65 m seulement. Entre Millwall et le tunnel sous la Tamise, il y a un chenal de 91,50 m de largeur avec des profondeurs variant de 4,80 à 4 m ; c'est cette dernière profondeur qui existe sur le tunnel. Entre celui-ci et le port de Londres on trouve 4,25 m à marée basse.

Depuis 1902 il n'a été fait aucune addition aux docks de Londres, les Compagnies ne pouvant chercher à se procurer des capitaux sans connaître les intentions du Gouvernement.

Il n'existe point à Londres de bassins ou de formes sèches pouvant recevoir les plus grands navires de commerce ou de guerre actuels. Ce qu'il faudrait est résumé dans l'article dont nous nous occupons sous la forme suivante qui s'accorde d'une manière générale avec les propositions de la Commission royale.

1. Établir un chenal de 10,67 m de profondeur jusqu'à Gravesend et un de 9,15 m au moins de Gravesend aux London Docks et India Docks, et cela, si possible, sur toute la largeur du fleuve.

2. Établir deux nouveaux bassins à flot avec des entrées de 30,50 m de largeur et 12,20 m de profondeur d'eau pouvant recevoir au moins huit des plus grands navires avec les quais, hangars, etc., nécessaires

3. Construire trois formes sèches avec 30,50 m d'entrée, 12,20 m de hauteur d'eau sur le seuil à basse mer et 213,50 à 305 m de longueur avec tous leurs accessoires.

4. Améliorer les docks existants et leur apporter tous les perfectionnements modernes pour faciliter la manutention des marchandises. Ces travaux nécessitent des dépenses considérables, mais ils sont indispensables pour permettre au port de Londres de lutter contre ses concurrents étrangers.

Conservation du charbon sous l'eau. — Nous avons déjà eu l'occasion de signaler des propositions faites de divers côtés et d'expériences relatives à la conservation du charbon sous l'eau. Voici un exemple de l'application de cette méthode exécutée sur une grande échelle.

En 1902, la Western Electric Company, à Chicago, après avoir étudié avec soin la question de ses approvisionnements de combustible rendue difficile par suite des grèves et autres cas de force majeure, prit la résolution d'établir des dépôts importants de charbon. L'expérience faite sur une première installation démontra que les charbons de l'Illinois, dont se sert la Compagnie, lorsqu'ils sont mis en tas à l'air, sont très sujets à éprouver des combustions spontanées. En présence de cette difficulté, on décida de creuser une immense fosse dans le sol et de conserver le charbon sous l'eau. Ce projet fut mis à exécution et on obtint des résultats tout à fait satisfaisants.

Lorsque la Compagnie eut à se préoccuper de l'emmagasinage du combustible à sa nouvelle station centrale de Hawthorne, on adopta la même méthode et on établit une fosse en béton divisée en trois compartiments et couvrant une surface de 95 × 35 m ; la profondeur est d'environ 4,50 m, de sorte qu'on peut y mettre à peu près 10 000 t de

combustible qui se trouve entièrement sous l'eau quand les cavités sont remplies.

Chacune des trois sections est elle-même divisée en quatre par des murs en béton sur lesquels sont posées des voies de chemins de fer; deux autres files doubles de rails sont sur les côtés du dépôt, de sorte qu'il est facile de vider et de remplir les wagons circulant sur ces voies. Une grue locomotive sert au chargement des wagons avec le charbon du dépôt. On ne se préoccupe pas de sécher le combustible avant de l'employer, il perd tout seul son humidité pendant le chargement et le transport et se trouve suffisamment sec lorsqu'il arrive aux chaudières.

Le journal *Engineer*, du 4 septembre 1904, commentant un rapport de Lord Charles Beresford indiquant que le charbon exposé longtemps en tas à l'air pouvait perdre jusqu'à 50 0/0 de son pouvoir calorifique considérait ces chiffres comme exagérés; il était d'avis que la perte ordinaire peut être évaluée à 10 ou 15 0/0 en pratique avec maximum possible de 20 0/0. Le même journal, dans son numéro du 18 septembre 1904, donnait une lettre adressée à la rédaction par le lieutenant Carlyon Bellairs, de la marine royale, disant qu'il a été constaté, à Hong-Kong, que la perte de pouvoir calorifique du charbon resté longtemps en tas à l'air s'élevait à 20 et 30 0/0, soit en moyenne à 25 0/0.

John Macaulay, directeur général des Alexandre Docks and Railway, à Newport, dans le Pays de Galles, a écrit un article sur ce sujet dans lequel il établit comme résultat de ses observations et expériences personnelles que le charbon conservé sous l'eau ne perd pas plus de 3 0/0 de son pouvoir calorifique au bout de 12 mois, alors que, s'il avait été gardé à l'air, il aurait perdu en Angleterre 12 0/0 au moins et dans des climats plus chauds de 18 à 24 0/0.

Ces indications se rapportent apparemment à des charbons gras contenant en moyenne de 30 à 35 0/0 de matières volatiles du genre des charbons de l'Illinois qu'emploie la Western Electric Company. Bien que celle-ci n'ait jamais fait elle-même d'essais un peu minutieux pour éclaircir la question, son expérience pratique semble de nature à fournir des renseignements d'une certaine valeur.

M. Macaulay, dont le nom vient d'être cité, a constaté que le charbon conservé dans l'eau de mer semble avoir légèrement gagné en pouvoir calorifique, sans qu'il puisse attribuer positivement le fait à la présence du sel marin. La Western Electric Company pourrait facilement élucider la question en mettant du sel dans ses dépôts. Nous empruntons ce qui précède à l'*Engineering and Mining Journal.*

La production de la menthe au Japon. — Le menthol et l'essence de menthe sont obtenus de la menthe poivrée, qui est cultivée principalement dans les provinces de Hokkaido, Samagatakou et Okayamakou, au Japon, et ces deux produits sont préparés simultanément, bien que les prix en soient différents, et les acheteurs sont tenus de prendre la même quantité de l'un et de l'autre.

Dans le district de Yokohama, il y a trois principaux fabricants; la marque de l'un d'eux est considérée comme la meilleure et est bien

connue en Europe et aux États-Unis, bien que la différence entre la qualité de ces produits et celle des autres soit à peu près insignifiante.

L'essence de menthe et le menthol sont en général placés dans des vases métalliques contenant cinq livres anglaises, on met douze de ces récipients dans une caisse, dont la contenance est par conséquent de 60 livres. Ce mode d'emballage est employé pour les expéditions à destination de l'Europe et des États-Unis, mais pour l'Inde on met ces produits en bouteilles.

D'après un rapport du vice-consul américain à Yokohama, la plus petite production aurait été celle de 1901 avec un chiffre de 67 000 livres. En 1905, la valeur totale du menthol exporté de Yokohama, Osuka et Kobe a atteint 2 millions de francs et celle de l'essence de menthe 1 250 000 f. Pour les dix mois finissant le 31 octobre 1906, l'exportation des cristaux de menthol de Yokohama seul était évaluée à 625 000 f contre 1 200 000 f pour la période correspondante de l'année précédente. Quant à l'expédition d'essence de menthe de Yokohama pour la même période de 1906, elle a été de 350 000 f contre 500 000 pour 1905. Le rapport ne s'explique pas sur les causes de ces différences considérables qui se produisent d'une année à l'autre.

La menthe croît au Japon avec une hauteur de 0,90 m environ ; elle se propage au moyen des racines qu'on plante à la fin du mois de novembre. A peu près les trois quarts de la production de la plante a lieu dans le district de Kobe, surtout à Bizou, Bitchu et Bingo, où on fait la récolte trois fois par an, d'abord en juillet, puis en août ou en septembre et enfin en septembre ou octobre. On cultive encore la menthe à Uzen et à Hokkaido. Dans la première de ces localités, on fait deux récoltes, une en août et une en septembre, et dans la seconde une seule en octobre ou novembre.

La plante exige un terrain sec et léger, si on a trop de pluie en juin, juillet, août et septembre, la récolte est perdue. C'est la troisième récolte qui produit le plus d'essence. La première donne par hectare environ 1.8 kg d'essence, la seconde 3,6 et la troisième à peu près 5 kg. L'essence provenant de la première récolte contient 45 0/0 de menthol, celle de la seconde 47,5 et celle de la dernière 50 0/0.

On obtient l'essence brute par des procédés primitifs en chauffant les feuilles et les pressant. On extrait le menthol de l'essence par la congélation. On récoltait en moyenne environ 150 000 kg d'essence brute par an, mais, dans ces dernières années, la baisse des prix a fait réduire les plantations au point qu'en 1906 on n'a pas obtenu plus de 45 000 kg d'essence brute. Ces renseignements sont extraits du *Journal of the Society of Arts*.

COMPTES RENDUS

SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

Juin 1907.

Une famille d'illustres savants. — Quelques souvenirs de Conté, Humblot-Conté, Jacques, Paul et Arnould Thénard, par M. A. Liébaut.

Il s'agit ici d'une conférence faite à la Société d'Encouragement, le 24 mai 1907, par notre collègue M. A. Liébaut, conférence dans laquelle il a donné d'intéressants détails sur cette famille de savants commençant au célèbre Conté, dont Napoléon faisait l'éloge dans les termes suivants : « Homme universel, ayant le goût, les connaissances et le génie des » arts ; précieux dans un pays éloigné, bon à tout, capable de créer » les arts de la France au milieu des déserts de l'Arabie. »

Progrès de l'industrie des parfums et des huiles essentielles, par MM. A. Haller et H. Gault *(suite)*.

Notes de chimie, par M. Jules Garçon.

Les principales questions traitées dans ces notes sont les suivantes :

Sur les rayons ultra-violets. — Notes historiques sur la chimie en France. — Chrome, tungstène et molybdène. — Les gaz des hauts fourneaux. — Notes sur le camphre. — Fabrication de l'acide oxalique par le procédé Effront. — Éthers xanthogéniques de l'amidon. — Nouvelle réaction colorée de la liquo-cellulose. — Examen des amidons commerciaux. — Emploi de la poudre de peau chromée pour l'analyse des tannins. — Sur les tabacs. — Sur la valeur commerciale des viandes. — La crise des industries viticoles, etc.

Notes économiques. — La réduction de la journée de travail à huit heures. — L'expérience des établissements industriels de l'État, par M. Maurice Alfassa.

Il est hors de doute qu'un des problèmes économiques vers la solution duquel tendent les efforts ouvriers dans tous les pays est celui de la réduction de la durée du travail. Mais s'il se présente en faveur de cette réduction des raisons très sérieuses basées sur divers ordres d'idées, il n'est pas moins vrai que, dans l'état actuel, toute réduction de la journée de travail, à salaire égal, se traduit par un accroissement du prix de fabrication, alors que l'industrie nationale doit, si elle ne veut pas s'amoindrir, tendre à réduire, au contraire, son coût de production.

Après avoir exposé les deux thèses en présence, l'auteur aborde l'examen des résultats de l'expérience de la réduction à huit heures de la journée de travail dans les établissements industriels de l'État, savoir : dans l'administration des Postes, dans les établissements de la Marine, et enfin, à titre temporaire, dans les ateliers de la Guerre, à Tarbes.

Dans le premier service, l'administration admet que, pour l'ensemble, la diminution de production a été maintenue dans des limites raisonnables. Il n'était guère possible, dit-elle, d'espérer mieux au point de vue du nouveau rendement que ce que l'expérience a donné.

Dans les établissements de la Marine, les résultats sont très variables; certains rapports constatent une diminution très nette de la production. d'autres admettent que, s'il y a perte sèche dans la production du fait de la journée de huit heures, une amélioration incessante de l'outillage et des procédés de travail arrivera certainement à compenser cette perte dans une certaine mesure. Il est même un rapport émanant de la direction de l'artillerie navale, à Rochefort, qui déclare que l'adoption de la journée de huit heures, loin de diminuer le rendement utile de ses ateliers, l'a, au contraire, augmenté. L'auteur ne croit pas qu'il soit possible de se prononcer dès à présent sur les résultats de la réduction de la journée et se réserve de rechercher s'il n'existe pas des motifs spéciaux qui expliqueraient dans une certaine mesure les résultats défavorables obtenus dans certains cas.

Notes de mécanique. — On trouve sous cette rubrique : une note sur les moteurs à gaz de hauts fourneaux, d'après M. Greiner; la description de l'excavateur Buckeye; une note sur les rails pipés, c'est-à-dire provenant de lingots pipés ou présentant des cavités intérieures; une étude sur l'exploitation des mines de soufre par l'eau chaude sous pression; une sur le rôle de la vapeur dans les gazogènes; une description de la machine Leistner à faire les bouteilles; une note sur les essais d'une turbine à vapeur Riedler-Stumpf de 2 000 ch, et la description de l'emboutisseuse pour baignoires, de la Toledo Machine Tool Company, à Toledo (Ohio).

Juillet 1907.

État financier de la Société. — Rapports sur les comptes de l'exercice 1906.

Rapport de M. Ed. Sauvage, sur **un appareil d'arrêt à distance des moteurs,** de M. Dubois.

Le principe de cet appareil repose sur l'actionnement par un courant électrique d'une pièce qui interrompt l'arrivée de la vapeur au moteur, en même temps que, pour les machines à condensation, elle ouvre une soupape de rentrée d'air au condenseur.

Le courant peut être fourni par une batterie d'accumulateurs; des commutateurs permettant l'envoi du courant, sont installés dans diverses parties des ateliers. On peut aussi établir des mécanismes provoquant l'arrêt du moteur en cas d'emballement ou de non-fonctionnement

du régulateur et aussi en cas de rupture d'un câble ou d'une courroie de transmission.

Le rapporteur fait très justement observer que, pour que ces dispositifs ingénieux puissent inspirer toute confiance, il est nécessaire qu'on s'assure journellement de leur bon fonctionnement, surtout pour les commutateurs qui devront être l'objet d'une surveillance constante.

Le problème de l'aviation et sa solution par l'aéroplane, par M. J. Armengaud.

L'auteur, après un rapide coup d'œil sur les essais de dirigeabilité des ballons, traite la question de l'aéroplane, la seconde branche de l'aéronautique, et décrit les diverses études et tentatives faites dans cette voie.

La communication de M. Armengaud remonte au 15 mars 1907 et ne tient, par conséquent, pas compte de faits postérieurs d'une assez grande importance.

Communication de M. O. de Faria, sur son **transformateur électrolytique.**

Cet appareil est basé sur le phénomène bien connu de la soupape électrolytique, organe qui fonctionne pour un courant électrique comme une soupape à clapet pour un courant d'eau, propriété utilisée pour la transformation de courants alternatifs en courants continus.

Travail des fosses septiques, par MM. P. Vincey et Ch. Rolandez.

Il s'agit des expériences faites par M. G. A. Johnson, au sujet de l'épuration des eaux d'égouts de la ville de Colombus (Ohio), travail très important, qui a duré onze mois consécutifs et n'a pas comporté moins de 8 239 analyses. Les résultats de ces expériences sont consignés dans de nombreux tableaux. Les auteurs semblent conclure de ces résultats que les fosses septiques expérimentées forment de très mauvais bassins de décantation. Quant aux phénomènes de solubilisation et de gazéification simultanées dont elles seraient théoriquement le siège, le fait qu'elles paraissent gazéifier autant de boue minérale que de boue organique, autorise à faire les plus expresses réserves sur leur prétendue intensité.

Notes de chimie, par M. Jules Garçon.

Nous trouvons ici traités les sujets suivants : Fabrication des nitrites. — Sur l'origine des pétroles. — Préparation industrielle de l'hydrogène. — Distillation des vins à froid. — Sur les savons. — Dosage de l'huile de ricin dans les huiles solubles. — Sur les cotons nitrés. — Sur l'absorption des colorants par le charbon et les fibres. — Sur la chlorophylle et la xanthophylle. — Le sulfate de fer en agriculture. — Les engrais azotés. — Action physiologique de quelques matières colorantes. — Désinfection par le fluorure d'argent, etc.

Notes de mécanique.

On trouve sous cette rubrique les sujets suivants : Sertissure pour tuyaux de Kronauer. — Monorail Brennam. — Allège à charbon Smulders. — Foyer de locomotive Langbridge. — Chaîne sans soudure. — Grue-marteau de 150 t. — Surchauffe dans les chaudières marines. — Nouvelles pompes élévatoires de Hambourg.

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES

2e fascicule de 1907.

Notice nécrologique sur Armand Bellom, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, par M. A. Debauve, Inspecteur général des Ponts et Chaussées.

La vie et les travaux de M. Ed. Huet, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Directeur honoraire des travaux de Paris, par M. Delocre, Inspecteur général des Ponts et Chaussées en retraite.

Observations préliminaires au sujet de **la décomposition des ciments à la mer,** par M. H. Le Chatelier, Ingénieur en chef des Mines.

Dans cette étude très développée, où l'auteur n'envisage que les phénomènes chimiques, qui sont de beaucoup les plus importants, il passe successivement en revue : les phénomènes théoriques élémentaires qui jouent un rôle dans la décomposition des mortiers, les actions mécaniques dues aux phénomènes chimiques telles que les gonflements et autres déformations, les phénomènes physiques de pénétration des sels de la mer dans les mortiers et la décomposition de briquettes par immersion dans des solutions salines variées, au sujet de laquelle sont rapportées de nombreuses expériences. L'auteur termine en concluant que tous les liants hydrauliques sans aucune exception, sont décomposables par l'eau de mer, mais plus ou moins vite. Il expose les raisons qui influent sur la lenteur relative de cette décomposition.

Rapport d'ensemble sur les moyens employés jusqu'ici pour combattre **la poussière des routes,** présentée à la Commission d'études instituée par M. le Ministre des Travaux publics, par M. Le Gavrian, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Secrétaire de la Commission.

Le rapport débute par classer les divers procédés en quatre catégories, savoir :

1° Goudronnages superficiels (à chaud ou à froid);
2° Pétrolages ou procédés similaires;
3° Arrosages à l'eau additionnée de mélanges, et,
4° Procédés divers ne rentrant dans aucune des catégories précédentes.

Il est donné un historique succinct et des explications sur le mode d'application des procédés rentrant dans ces diverses classes.

Le rapporteur conclut qu'il serait intéressant de reproduire et de poursuivre des expériences méthodiques sur certains de ces procédés.

Consolidation du pont de Guildo. — Calculs de résistance et mode d'exécution employés dans la reconstruction de cet ouvrage, par M. Harel de la Noé, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

Ce pont métallique avait été fait en 1850, pour un chemin de grande communication, à poutres solidaires sur piles en maçonnerie. Il était en très mauvais état, et la nécessité d'y faire passer la ligne de Plancoët à Saint-Cast obligeait à le reconstruire.

On a conservé les vieilles poutres qu'on a bloquées dans un massif en béton armé et on les a surmontées d'armatures composées d'une barre horizontale, de montants verticaux et de jambes de force; on a fait reposer ces poutres sur les piles par l'intermédiaire de petites piles oscillantes, pour permettre les déplacements longitudinaux en vue des effets de dilatation; l'ancien tablier en bois a été remplacé par un tablier en béton armé.

Notice sur **l'usine élévatoire à vapeur de Briare,** par M. Huet, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Cette usine est destinée à l'alimentation du bief de portage du canal de Briare; elle comprend quatre groupes d'appareils dont chacun se compose de deux pompes aspirantes et élévatoires, non foulantes, verticales attelées à un balancier à une extrémité duquel est une bielle actionnant la manivelle d'un arbre portant un volant, tandis que l'autre extrémité est commandée par les tiges des pistons des deux cylindres d'un appareil de Woolf, le cylindre à haute pression porte un appareil de détente du système Hall-Windsor. Il y a cinq chaudières semi-tubulaires avec bouilleurs inférieurs. L'usine a été calculée pour fournir 800 l par seconde à une hauteur de 43,1 m ce qui correspond à un travail de 460 ch. Ce travail n'a pu être réalisé tout d'abord et il a fallu opérer diverses modifications pour y arriver.

La dépense d'établissement s'est élevée à 1 200 000 f en nombre rond dont environ 500 000 pour les appareils mécaniques. L'usine de Briare a été mise en service en juillet 1895.

Expériences sur une semi-articulation pour voûtes en béton armé, par M. Mesnager, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

L'auteur propose d'employer dans les constructions en béton armé des semi-articulations formées de pièces métalliques flexibles. Il a fait des expériences sur le fonctionnement de ce dispositif, expériences qui font le sujet de cette note.

Etude sur **la voie navigable du Havre à Marseille,** par Paris, Montargis et Nevers, par M. Mazoyer, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

Cette ligne assure depuis 1898, entre Rouen et Lyon, le passage régu-

lier des péniches de 300 t, avec un mouillage continu et régulier de 2,20 m. Elle franchit entre la Seine et la Loire un faîte à l'altitude de 166,30 m et un autre, entre la Loire et la Saône, à l'altitude de 301,55 m.

Les dépenses effectuées sur le parcours total de 1 193 km, comprenant 184 biefs, se sont élevées à 199 millions de francs, ce qui donne une moyenne de 166 800 f par kilomètre; c'est la traversée de Paris qui a coûté le plus cher, 1 629 000 f par kilomètre. Cet ensemble de travaux a eu pour résultat de presque doubler le trafic pour le centre du pays; car ce trafic, de 458 500 t à distance entière en 1883, s'est élevé à 869 400 t en 1904, au canal latéral à la Loire.

Discussions en Allemagne sur la **baguette employée à découvrir les sources,** par M. Goupil, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

La baguette divinatoire, dont l'emploi connu des anciens, n'est devenu courant qu'au moyen âge, paraît avoir trouvé dans ces dernières années, un regain d'actualité en Allemagne. La note dont nous nous occupons, a pour objet de résumer les discussions auxquelles elle a donné lieu. La conclusion paraît être, qu'en admettant un déchet considérable pour le tribut payé au charlatanisme et à l'illusion, il resterait un certain nombre de faits rendant hors de doute l'existence, à des degrés divers selon les individus, d'une aptitude physiologique particulière à ressentir l'espèce d'induction produite par les nappes d'eau souterraines. Il n'en est pas moins vrai qu'il faut accueillir avec beaucoup de réserve les affirmations des gens qui opèrent avec la baguette. Neuf fois sur dix, les sorciers de profession se trompent eux-mêmes et trompent les autres. Nous rappellerons que, dans la Chronique de juin 1907, page 706, nous avons indiqué, en parlant du chemin de fer d'Otavi, dans l'Afrique allemande, que les sondages effectués pour obtenir de l'eau, à des endroits désignés par M. von Uslar, à l'aide de la baguette divinatoire, avaient donné d'excellents résultats.

Système de prise d'eau par tuyaux filtrants, par M. Huet, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Ce système consiste à placer dans le lit de sable d'un fleuve (la Loire à Gien), des tuyaux verticaux qui captent l'eau filtrée naturellement par le sable du lit. Avec un tuyau de 0,30 m de diamètre, il faut, la charge étant seulement de 50 mm une surface de 50 m² de tuyaux poreux en béton, pour obtenir 50 m³ d'eau filtrée par heure. Chaque tuyau ayant 1 m² de surface, il faut cinquante tuyaux.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS

N° 28. — *13 juillet 1907.*

Expériences sur les transmissions par cordes et courroies, par Kammerer.

Exposition maritime internationale à Bordeaux, en 1907, par Kammerer.

Transmission de la chaleur dans les parois des surchauffeurs.

La propulsion des locomotives, par J. Jahn *(suite)*.

Emploi des huiles lourdes dans les moteurs à combustion intérieure, par E. Capitaine.

Groupe de Pomeranie. — Elimination du fer des eaux de sources.

Bibliographie. — La thermodynamique de la machine à vapeur, par F. Krauss. — La ligne de navigation hambourgeoise-américaine, par K. Himer. — Diagramme de Muller pour la distribution des machines à vapeur fixes, par A. Seemann.

Revue. — Association de Göttingue pour l'avancement des sciences physiques et mathématiques. — Sixième réunion générale, à Vienne, des Ingénieurs de chauffage et ventilation. — Riveuse à genou des Hanna Engineering Works, à Chicago. — Expériences sur une turbine Parsons.

N° 29. — *20 juillet 1907.*

Souffleries à turbine C. A. Parsons pour hauts fourneaux, par J. Furstenau.

Marche des courants fluides dans des espaces contournés en forme de labyrinthes, par Ernst Becker.

Propulsion des locomotives, par J. Jahn *(fin)*.

Recherches sur la question de l'échauffement des machines électriques, par L. Ott.

Importance commerciale des outils fonctionnant par l'air comprimé, par A. Lang.

Groupe du Bas-Weser. — Résistance mécanique du fluide.

Bibliographie. — Étude expérimentale du rivetage, par Ch. Frémont.

Revue. — Nouvel accouplement pour machines motrices de la Berlin-Anhalt Maschinenbau A. G. — Segments de pistons. — Tramway électrique à Saint-Pétersbourg.

N° 30. — *27 juillet 1907.*

Efforts dus à la chaleur et production de fissures dans les tôles, par Carl Sulzer.

Nouvelles machines de l'industrie textile, d'après les dernières expositions, par S. Rohn *(suite)*.

Nouvelles machines élévatoires pour la distribution d'eau de Hambourg, par C. Schröder *(suite)*.

Frottement des garnitures dans les presses hydrauliques et son influence sur l'exactitude des appareils de mesure où on emploie ces presses, par A. Martens.

Machine à triple expansion à grande vitesse de 1 000 chevaux, par C.-Fr. Holmboe.

Grue-derrick pour constructions très élevées, par G.-W. Koehler.

Groupe de Franconie et du Haut-Palatinat. — Installations électriques dans les théâtres modernes.

Groupe de Posen. — L'air carburé.

Groupe de *Schleswig-Holstein.* — Le navire de guerre anglais *Dreadnought.*

Bibliographie. — Nouvelle théorie et calcul des pompes centrifuges, par M. Lorenz. — Analyse de chimie industrielle de Post, par B. Neumann.

Revue. — Changement de vitesse de G. Polysius. — Enveloppes en acier pour conducteurs électriques sous-marins de Felten et Guilleaume. — Le développement des industries électriques en Italie. — Traction électrique sur le métropolitain à Londres.

N° 31. — *3 août 1907.*

Développement de la construction des machines-outils en Allemagne, par Fr. Ruppert *(suite).*

Automobiles électriques à l'Exposition de l'automobilisme à Berlin en 1906, par K. Meyer *(fin).*

Nouvelles machines élévatoires pour la distribution d'eau de Hambourg, par R. Schröder *(fin).*

Expériences de rendement avec des meules d'émeri mouillées et des meules de carborundum, par G. Schlesinger.

Groupe de Berlin. – Expériences d'atelier sur des meules d'émeri.

Groupe du Rheingau. — Disposition de barrages.

Bibliographie. — Législation des patentes d'invention dans les divers pays par J. Kohler et M. Mints. — L'école technique supérieure allemande de Prague de 1806 à 1906, par Fr. Stark.

Revue. — Les mines de cuivre d'Otavi. — L'exploitation du chemin de fer de Brembana (Italie) par le courant alternatif monophasé. — Pompe centrifuge à haute pression de E. Sivell. — Installations électriques municipales de Bruxelles.

N° 32. — *10 août 1907.*

Les paliers graisseurs, par C. Volk.

Le pont-route sur le Rhin entre Ruhrort et Homberg, par W. Dietz *(fin).*

Développement de la construction des machines-outils en Allemagne, par Fr. Ruppert *(fin).*

Les efforts accessoires dans les aubes de turbines, par A. Stodola,

Groupe du Rhin inférieur. — Effet utile des pompes centrifuges,

Bibliographie. — Centenaire de la navigation à vapeur 1807-1907, par K. Radanz.

Étude générale sur la théorie et la pratique des chemins de fer, par L. Troske.

Revue. — Le pont en arc sur le Hell-Gate. — Le ballon Wellmann. — La construction navale au Japon.

N° 33. — *17 août 1907.*

Cent ans de navigation à vapeur, par C. Matschoss.

Souffleries à turbines pour hautes pressions, par A. Rateau.

Nouveautés dans les grands moteurs à gaz, par von Handorff.

Efforts dus à la chaleur dans les cheminées, par A. Léon.

Groupe de Thuringe. — La question du cuivre en Allemagne. — Les turbines à vapeur et particulièrement la turbine Zoelly.

Revue. — Moteur à courant continu pour tramway de la fabrique d'Oerlikon. — Les usines de la Canadian Niagara Power C° et les transmissions d'électricité dans l'Amérique du Nord. — Essais du vapeur de la ligne Cunard *Lusitania.*

N° 34. — *24 août 1907.*

Principes de la construction des voitures automobiles, par G. Valentin.

Nouvelles machines de l'industrie textile, d'après les dernières expositions, par G. Rohn *(suite).*

Le matériel de chemins de fer à l'Exposition de Milan en 1906, par Metzeltin *(suite).*

Expériences comparatives sur les hélices propulsives, par W. Helling.

Cinquantième anniversaire de la fondation du groupe du Palatinat-Saarbruck.

Bibliographie. — Transformations pour courants électriques continus et alternatifs, par G. Kapp. — Pratique de la construction navale, par Bohnstedt.

Revue. — Pont tournant pour chemin de fer sur la Hunte, près Oldenbourg. — Wagon-bascule pour service des bétonnières. — Essais du vapeur de la ligne Cunard, *Lusitania.* — Le plus grand vapeur fluvial du monde.

N° 35. — *31 août 1907.*

Nouveautés dans la construction des indicateurs, par A. Wagener.

Le matériel de chemins de fer à l'Exposition de Milan en 1906, par Metzeltin *(suite).*

Tiroir avec portées intérieures, par M. Hochwald.

Idées de Léonard de Vinci sur la chute libre des corps pesants, par Th. Bock.

Cinquantième anniversaire de la fondation du groupe du Palatinat-Saarbruck *(fin).*

Groupe de Cologne. — Questions de propriété relatives aux machines. — Anciennés familles rhénanes d'industriels.

Bibliographie. — Les moteurs d'automobiles et leur construction, par

W. Pfitzner. — Automobiles et locomotives, par K. Spitzer et V. Krakauer.

Revue. — Activité des établissements d'essais de physique industrielle en 1906. — Le vingt-cinquième anniversaire du système Abt pour chemins de fer à crémaillère.

N° 36. — *7 septembre 1907*.

Expériences sur un moteur à gaz au point de vue de l'influence de la composition du mélange, par A. Nägel.

Gares à marchandises des chemins de fer de l'Amérique du Nord, par Blum et E. Giese.

Méthode de Heyland pour le réglage de la marche des moteurs à induction, par Fr.-G. Wellner.

Arroseuses-automobiles pour rues, par A. Heller.

Calcul des pièces courbes, par R. Blumenfeld.

Revue. — Appareils automatiques pour le chauffage des chaudières à vapeur. — Installations mécaniques de déchargement dans les docks. — Barrages en Bohème. — Trafic du Simplon.

Pour la Chronique et les Comptes rendus :
A. Mallet.

Le Secrétaire Administratif, Gérant,
A. de Dax.

IMPRIMERIE CHAIX, RUE BERGÈRE, 20, PARIS. — 16352-10-07. — (Encre Lorilleux)

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE

BULLETIN

DE

NOVEMBRE 1907

N° 11.

OUVRAGES REÇUS

Pendant le mois de novembre 1907, la Société a reçu les ouvrages suivants :

Agriculture.

DUPONT (F.). RIFFARD (Ed). — *La betterave à sucre dans le Midi de la France*, par François Dupont et Edmond Riffard (in-8°, 235 × 155 de 16 p.). Compiègne, Imprimerie Henry Lefebvre, 1907. (Don de M. Ed. Riffard, M. de la S.) 45137

Ministère de l'Agriculture. Annales. Direction de l'Hydraulique et des Améliorations agricoles. Documents officiels. Jurisprudence. Rapports et Notes techniques. Fascicules 30 et 31 (in-8°, 280 × 180 de 436 p. avec 7 pl. et de 315 p.). Paris, Imprimerie nationale, 1904, 1905. (Don du Ministère de l'Agriculture.) 45128 et 45129

Ministère de l'Agriculture. Annales. Direction de l'Hydraulique et des Améliorations agricoles. Fascicule 32. Service d'Études des grandes forces hydrauliques (Région des Alpes). Tome I. Organisation et Comptes rendus des travaux (in-8°, 280 × 180 de 181 p. avec 45 fig. et 7 pl.). Paris, Imprimerie nationale, 1905. (Don du Ministère de l'Agriculture.) 45124

Ministère de l'Agriculture. Annales. Direction de l'Hydraulique et des Améliorations agricoles. Fascicule 32. Service d'Études des grandes forces hydrauliques (Région des Alpes). Tome II. Résultats des études et travaux (in-8°, 280 × 180 de 451 p. avec cartes.) Paris, Imprimerie nationale. 1905. (Don du Ministère de l'Agriculture.) 45130

Chemins de fer et Tramways.

GRIMSHAW (Dr R.), POINSIGNON (P.). — *La construction d'une locomotive moderne*, par le Dr Robert Grimshaw. Traduit sur la deuxième édition allemande. par P. Poinsignon (in-8°, 230 × 160 de XIV-64 p. avec 42 fig.). Paris, Gauthier-Villars, 1907. (Don de l'éditeur.) 45127

PERROUD (E.). — *Note sur le défaut de nivellement parfait de la surface de roulement de certains rails en acier dur et les inconvénients qui en résultent*, par M. E. Perroud (Extrait de la Revue générale des Chemins de fer et des Tramways. N° d'août 1907) (in-4°, 320 × 225 de 16 p. avec 2 pl. et 9 fig.). Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1907. (Don de l'auteur, M. de la S.). 45084

Chimie.

FISCHER (E.), DECKER (H.) et DUNANT (G.). — *Guide de préparations organiques à l'usage des étudiants*, par Emil Fischer. Traduction autorisée d'après la septième édition allemande, par H. Decker et G. Dunant (in-16, 185 × 120 de XVII-110 p. avec 19 fig.). Paris, Gauthier-Villars, 1907. (Don de l'éditeur.) 45126

HALLER (A.) GIRARD (Ch.). — *Memento du Chimiste (Ancien Agenda du Chimiste). Recueil de Tables et de Documents divers indispensables aux Laboratoires officiels et industriels*, publié sous la direction de MM. A. Haller et Ch. Girard (in-8°, 205 × 130 de XX-758 p. avec nombreux tableaux et figures). Paris, H. Dunod et Pinat, 1907. (Don des éditeurs.) 45089

Construction des machines.

Association Lyonnaise des Propriétaires d'appareils à vapeur. Exercice 1905. 30me année (in-8°, 240 × 160 de 80 p.). Lyon, A. Storck et Cie, 1906. 45092

BERTHIER (A.). — *Les nouvelles machines thermiques. Moteurs rotatifs et Turbines à vapeur et à gaz. Turbines à gaz facilement liquéfiables*, par A. Berthier (in-8°, 225 × 140 de XII-324 p. avec 152 fig.). Paris, H. Desforges, 1908. (Don de l'éditeur.) 45088

Éclairage.

DINOIRE (E.). — *Contribution à la construction et à l'emploi des lampes électriques portatives dans les mines*, par E. Dinoire (in-8°, 185 × 130 de 66 p.). Lille, Jules Tallandier, 1907. (Don de l'éditeur.) 45131

Économie politique et sociale.

Statistique des grèves et des recours à la conciliation et à l'arbitrage survenus pendant l'année 1906 (République Française. Ministère du Travail et de la Prévoyance sociale. Direction du Travail) (in-8°, 235 × 155 de xxi-824 p.). Paris, Imprimerie nationale, 1907. (Don du Ministère du Travail.) 45123

Géologie et Sciences naturelles diverses.

FLEURY (Dr E.). — *Précis d'hydrologie (Eaux potables et eaux minérales)*, par le Dr Émile Fleury. *Deuxième partie : Eaux minérales* (in-18, 190 × 130 de xx-322 p.). Paris, H. Desforges, 1907. (Don de l'éditeur.) 45087

TRUCHAT (P.). — *Les pyrites. Pyrites de fer. Pyrites de cuivre.* Traité pratique, par P. Truchat (in-8°, 210 × 135 de VIII-348 p. avec 77 fig. et 1 carte). Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1907. (Don des éditeurs.) 45090

VAN DEN BROECK (E.). — *Tables générales des matières des Tomes I à XX du Bulletin de la Société Belge de Géologie, de Paléontologie et d'Hydrologie*, publiées sous la direction du Secrétaire général E. Van den Broeck (in-8°, 255 × 175 de 273 p.). Bruxelles, Hayez, 1907. 45122

Navigation aérienne, intérieure et maritime.

BOILÈVE (V.). — *Les voies nécessaires de navigation intérieure. Les canaux du Rhône. Le canal de jonction de la Garonne à la Loire. Le canal latéral à la Loire*, par M. V. Boilève. Septembre 1907. (Syndicat général des Entrepreneurs de Travaux publics et du Bâtiment de l'arrondissement de Béziers. Congrès de Bordeaux) (in-8°, 205 × 135 de 30 p.). Béziers, F. Calmels, 1907. (Don de l'auteur, M. de la S.) 45085

Bulletin de l'Association technique maritime. N° 18. Session de 1907 (in-8°, 270 × 175 de LVI-413 p. avec fig. et pl.). Paris, Gauthier-Villars, 1907. 45145

LÉVY-SALVADOR (P.). — *L'énergie hydro-électrique. Sa production. Ses applications*, par Paul Lévy-Salvador (Extrait du Journal Les Travaux publics. Années 1906-1907) (in-4°, 285 × 230 de 79 p. à 2 col. avec 59 fig.). Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1907. (Don de l'auteur, M. de la S.) 45095

LOUREIRO (A.). — *Os Portos maritimos de Portugal e Ilhas adjacentes*, por Adolpho Loureiro. *Volumes I, II, III, Parte I, Parte II, Parte III*, (4 volumes in-8°, 250 × 160). Lisboa, Imprensa nacional, 1904, 1906, 1907. (Don du Ministerio da Obras publicas, Commercio e Industria.) 45133 à 45136

LOUREIRO (A.). — *Os Portos maritimos de Portugal et Ilhas adjacentes*, por Adolpho Loureiro. *Volume III. Parte II et Atlas I, II, III* (1 volume in-8°, 250 × 160 et 3 atlas 320 × 240 de 16, 6, 25 pl.). Lisboa, Imprensa nacional, 1904, 1905, 1907. (Don du Ministerio da Obras publicas, Commercio e Industria.) 45139 à 45142

MAS (F.-B. de). — *Souvenirs de neuf Congrès de navigation*, par F.-B. de Mas. *Bruxelles. Vienne. Francfort-sur-le-Mein. Manchester. Paris. La Haye. Paris. Bruxelles. Dusseldorf. 1885-1902* (in-8°, 250 × 160 de XVI-267 p.). Paris, Ch. Béranger, 1907. (Don de l'auteur.) 45094

TIMONOFF (V.-E. de). — *Exemples de Projets exécutés par les Élèves de l'Institut des Ingénieurs des voies de communication*, sous la Direction de M. V.-E. de Timonoff. *Navigation intérieure. Alimentations et Distributions d'eau. Assainissements de villes. 1889-1899* (un album-recueil, 650 × 500 de 4 notices explicatives avec 27 planches et cartes imprimées et manuscrites, en Russe). (Don de l'auteur, M. de la S.) 45146

TIMONOFF (V.-E. de). — *Exemples de Projets exécutés par les Élèves de l'Institut des Ingénieurs des voies de communication*, sous la Direction de M. V.-E. de Timonoff. *Travaux maritimes. 1889-1899* (un album-recueil, 650 × 500 de 8 notices explicatives avec 33 planches et cartes imprimées et manuscrites, en Russe). (Don de l'auteur, M. de la S.) 45147

Ville de Genève. Usine n° 3. Concours pour la présentation de projets réalisant les meilleures conditions pour utiliser la force du Rhône à La Plaine. Rapport du Jury (in-4°, 265 × 205 de 18 p.). Genève. Imprimerie centrale, 1907. (Don de la Ville de Genève.) 45093

Sciences mathématiques.

DWELSHAUVERS-DERY (V.). — *Lettre de M. le professeur émérite V. Dwelshauvers-Dery à Messieurs les Élèves de l'École des Mines de Liège au sujet de l'ouvrage de M. Gustave Le Bon, intitulé : L'Évolution des Forces* (Extrait du Bulletin Scientifique de l'Association des Élèves des Écoles spéciales) (in-8°, 225 × 150 de 26 p.). Liège. Imprimerie H. Vaillant-Carmane, 1907. (Don de l'auteur, M. de la S.) 45138

Technologie générale.

Anales de la Asociación de Ingenieros y Arquitectos de Mexico. Tomo XIV (in-8°, 225 × 160 de 259 p.). Mexico, Imprenta et Fototipia de la Secretaria de Fomento, 1906. 45096

Atti del R. Istituto d'Incoraggiamento di Napoli. MCMVI. Serie sesta. Volume LVIII degli Atti (in-4°, 300 × 200 de XXXII-595 p. avec fig. et pl.). Napoli, Cooperativa Tipografia, 1907. 45143

Catalogue officiel des Collections du Conservatoire national des Arts et Métiers. Cinquième fascicule. Arts graphiques. Photographie. Filature et Tissage. Mines. Métallurgie et Travail des Métaux. (Ministère du Commerce et de l'Industrie) (in-8°, 220 × 135 de 299 p. avec fig. et pl.). Paris, E. Bernard, 1908. (Don de l'éditeur.) 45097

GARÇON (J.). — *La bibliographie industrielle. 1° Services qu'elle peut rendre; elle devient indispensable; 2° Direction à suivre pour son établissement; 3° Sources de documents bibliographiques pour les sciences et pour les industries chimiques; 4° Répertoires industriels en cours de publication*, par M. Jules Garçon. Deuxième édition revue et augmentée (in-8°, 225 × 145 de 92 p.). Paris, 40 bis, rue Fabert, 1907. (Don de l'auteur, M. de la S.) 45132

Il Reale Istituto d'Incoraggiamento di Napoli. MDCCCVI-MCMVI. Ricerche storiche di Oreste Mastrojanni pubblicate per deliberazione del R. Istituto in occasione del primo centenario (in-4°, 315 × 220 de 287 p.). Napoli, Luigi Pierro, 1907. 45144

Transactions of the North-East Coast Institution of Engineers and Shipbuilders. Volume XXIII. Twenty-third session 1906-1907 (in-8°, 245 × 150 de LXX-302 p. avec XXVII pl.). Newcastle-upon-Tyne and London, Andrew Reid and Cy, 1907. 45036

Travaux et Mémoires du Bureau international des Poids et Mesures, publiés sous les auspices du Comité international, par le Directeur du Bureau. *Tome XIII* (in-4°, 325 × 245 de IX-A-66; B-113; C-31; D-40; E-54; F-47 p. avec 1 pl.). Paris, Gauthier-Villars, 1907. 45125

Travaux publics.

BARBET (L.-A.). ROUJON (H.). — *Les Grandes Eaux de Versailles. Installations mécaniques et étangs artificiels. Description des fontaines et de leur origine*, par M. L.-A. Barbet, avec une Préface de M. Henri Roujon (in-4°, 300 × 215 de VI-358 p. avec 312 fig.). Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1907. (Don des éditeurs.) 45091

3e Congrès national des Travaux publics Français à Bordeaux les 9, 10, 11 et 12 octobre 1907 (24 brochures in-8°, 275 × 190) (Association Française pour le développement des Travaux publics). Paris, Secrétariat, 35, rue Le Peletier. (Don de M. E.-A. Bourdonnay, M. de la S.) 45098 à 45121

MEMBRES NOUVELLEMENT ADMIS

Les Membres nouvellement admis, pendant le mois de novembre 1907, sont :

Comme Membres Sociétaires Titulaires, MM. :

R. Audra,	présenté par MM.	Cornuault, Masson, Postel-Vinay.
H.-J. Barbier,	—	Bordier, E. Koechlin, de Nansouty.
M. Bongiovanni,	—	Garcia, A. Bodin, Dufour.
A. Bonneri,	—	Belmère, Joubert, Lelong.
P. Boucherot,	—	Cornuault, Hillairet, Postel-Vinay.
L. Brille,	—	Defavrie, Ferat, Musnier.
M. Campistrou,	—	Algrin, Griffisch, Tisserant.
J. Davignon,	—	Duchesne, Fernez, de Dax.
J. Dumontant,	—	Cornuault, Masson, Postel-Vinay.
Ph. Führmann,	—	J. Durupt, Ch. Tellier, Postel-Vinay.
P. Gaillard,	—	Demmler, Dupuis, Rochebois.
A. Isnard,	—	Cornuault, Masson, Medebielle.
Ph. Jackson,	—	Bradon, Lemoniez, Riché.
G. Jourde,	—	Abadie, Dollot, Trottier.
G. de Launay,	—	Cornuault, Neveu, Postel-Vinay.
E. Lefébure,	—	Cornuault, Reumaux, Liébaut.
R. Lesfargues,	—	Avril, Lespès, Millet.
Ch. Magne,	—	E. de Marchena, A. de Marchena, Postel-Vinay.
L. Marquand,	—	A. Clevenot, E. Clevenot, Leclaire.
E. Marquet,	—	Brunswick, Lassaux, de Nansouty.
A. Martiny,	—	Cornuault, Verany, Postel-Vinay.
H. Mignaqui,	—	Cornuault, Postel-Vinay, Dor.
J. Palmary,	—	Cornuault, Masson, Postel-Vinay.
L. Peytral,	—	Cornuault, Postel Vinay, Vérany.
Ph. Robert,	—	Bizet, Honnorat, Limousin.
A. Salanson,	—	Cornuault, Masson, Postel-Vinay.
L. de Savignac,	—	Cornuault, Masson, Postel-Vinay.
M. Tillot,	—	Guiard, Huguenot, Schuhler.
M. Tissot,	—	Rey, Sol, Vidal.
Ch. Tschirret,	—	Postel-Vinay, Collon, Dumontant.
V. Vérany,	—	Cornuault, Janet, Clerc.
G. Viénot,	—	Boury, Regnaud, Dorian.
G. Zocchi,	—	Cornuault, Masson, Postel-Vinay.

Comme Membres Sociétaires Assistants, MM. :

L. Arbel,	présenté par MM.	Cornuault, Postel-Vinay, P. Arbel.
H. Brès,	—	Cornuault, Postel-Vinay, Dumontant.
M. Fricker,	—	Berlhe de Berlhe, Godard, Ravier.

Comme Membre Associé, M. :

L.-A. Deligne, présenté par MM. Leroy, Martignony, Roullié.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU MOIS DE NOVEMBRE 1907

PROCÈS-VERBAL

DE LA

SÉANCE DU 8 NOVEMBRE 1907

Présidence de M. E. Cornuault, Président.

La séance est ouverte à huit heures trois quarts.

Le Procès-verbal de la précédente séance est adopté.

M. le Président a le regret de faire connaître les décès de MM. :

de Brochocki, Alexandre, membre de la Société depuis 1894. Ingénieur civil, ancien administrateur des aciéries de Savone;

J.-E. Epstein, membre de la Société depuis 1868. Administrateur de la Société des Papeteries de Soczewka, vice-président de l'Union des fabricants de papier en Russie;

R. Henry-Couannier, ancien élève de l'Ecole Centrale (1872). Membre de la Société depuis 1876. Ancien filateur, ancien directeur du Comptoir de l'Industrie Linière, directeur général de la Société Anonyme Linière d'Amiens;

E. Jouvet, ancien élève de l'Ecole des Arts et Métiers de Chalons (1856), membre de la Société depuis 1876. Mandarin de 4e rang. Ancien ingénieur en chef de l'arsenal de Fou-Tcheou, ingénieur maritime et industriel;

F. Lagneau, ancien élève de l'Ecole Centrale (1879), membre de la Société depuis 1889. A été ingénieur à la Compagnie du canal de Suez, en Egypte, entrepreneur de travaux publics;

Et enfin, celui de notre ancien Président, M. Emile Trélat, ancien élève de l'Ecole Centrale (1840), membre fondateur de la Société (1848), membre du Comité de 1855 à 1860, en 1866 et en 1881, Président en 1882.

Les obsèques de M. Trélat ont été célébrées le samedi 2 novembre. La

Société y était représentée par son Président, dont le discours sera reproduit dans le bulletin, assisté de plusieurs anciens Présidents, et de Membres du Comité et de la Société.

M. le Président adresse aux familles de ces regrettés Collègues, l'expression des sentiments de douloureuse sympathie de la Société.

M. le Président a le plaisir d'annoncer que M. G. de Retz vient d'être nommé Officier de l'Instruction publique.

Il lui adresse les félicitations de la Société.

M. le Président dépose sur le bureau la liste des ouvrages reçus depuis la dernière séance. Cette liste sera insérée dans un prochain bulletin.

M. le Président fait connaître que :

Le cinquante-quatrième meeting annuel de l'American Society of mechanical Engineers aura lieu, à New-York, du 3 au 6 décembre prochain.

Le meeting ordinaire annuel de l'Institution of Mechanical Engineers de Londres aura lieu le 15 novembre.

Enfin, l'Institution of Junior Engineers, de Londres, a invité la Société à se faire représenter, à la séance du 18 novembre. Dans cette séance, notre ancien président, M. G. Canet, nommé Président de cette Institution pour 1907-1908, doit prononcer en anglais son discours d'inauguration, traitant des derniers perfectionnements de l'artillerie moderne, et il fait spécialement appel à ses Collègues du Comité et de la Société.

M. le Président informe la Société qu'une *Exposition internationale des applications de l'électricité* doit avoir lieu à Marseille, en avril 1908 ; cette Exposition, dont le règlement général ainsi que la classification générale sont déposés sur le Bureau, parait devoir avoir une grande importance, et des détails ultérieurs seront fournis sur elle. Un Comité général d'organisation a été formé à Paris, dont le Président est M. G. Noblemaire, ancien Directeur de la Compagnie de P.-L.-M., et le premier Vice-Président M. Maurice Lévy, de l'Institut ; les commissaires généraux sont MM. Cordier et Dubbs. Appel est fait aux membres de la Société qui voudront bien y prendre part.

M. le Président fait donner lecture de la lettre suivante, qu'il a reçue du Président de la Société Internationale des Électriciens :

« Monsieur le Président,

» J'ai l'honneur de vous transmettre, au nom du Bureau, les remer-
» ciements les plus sincères de la Société Internationale des Electriciens
» pour l'invitation que vous nous avez adressée à l'occasion de votre
» voyage sur le littoral méditerranéen.
» Ceux de nos collègues qui ont eu la bonne fortune de pouvoir se
» joindre à vous dans cette circonstance sont revenus charmés du
» voyage dont l'organisation fait le plus grand honneur à votre Société ;
» aussi nous serions très heureux, Monsieur le Président, si vous vou-

» liez bien être notre interprète auprès du Comité de la Société des » Ingénieurs Civils en lui faisant part de l'impression éprouvée par nos » collègues.

» Des circonstances comme celles-ci ne peuvent que resserrer les liens » de bonne confraternité qui existent entre nos Sociétés et je me félicite » d'avoir à vous en remercier.

» Veuillez agréer, Monsieur le Président, l'assurance de mes senti- » ments les plus distingués.

» *Le Président*
» *de la Société Internationale des Électriciens,*
» Henri Becquerel. »

M. le Président est heureux d'avoir à transmettre ce témoignage de bonne confraternité. A son tour, il remercie M. le Président de la Société Internationale des Electriciens des sentiments qu'il exprime et qui sont partagés par tous les membres de la Société des Ingénieurs Civils de France.

L'ordre du jour appelle *la Présentation du panneau décoratif de M. Pierre Vauthier*, ayant pour sujet : *Le monde antique assiste au développement de l'industrie moderne.*

M. le Président rappelle que le Comité, dans les premiers mois de cette année, a décidé de faire placer dans la salle des séances un panneau décoratif confié à M. Pierre Vauthier, Membre de la Société, ancien Elève de l'École Centrale (1869).

Le panneau couvrant le côté de la salle faisant face à la tribune présidentielle est découvert. *(Salve d'applaudissements.)*

M. le Président expose qu'il avait compté, pour la présentation du tableau de M. Vauthier, sur l'éminent Architecte, M. Magne, Rapporteur de la Commission spéciale, dont la voix aurait été plus autorisée que la sienne au point de vue artistique ; en l'absence de M. Magne, il fera de son mieux pour expliquer la pensée de l'auteur et la manière dont il a rendu le sujet qu'il avait choisi et longuement mûri.

M. le Président analyse successivement les diverses parties du tableau de M. Vauthier et termine ainsi :

J'espère, mes chers Collègues, que je serai votre interprète à tous en félicitant le distingué peintre P. Vauthier; M. Vauthier n'est pas seulement l'artiste de valeur connu de tous, c'est aussi un Ingénieur et c'est dans l'art de l'Ingénieur pratiqué au début de sa carrière, en s'inspirant laborieusement aux sources les plus réelles, qu'il a puisé, en les idéalisant artistiquement, les grands exemples des principales industries modernes qu'il a retracés magistralement pour notre salle des séances. *(Vifs applaudissements.)*

M. G. Canet, ancien Président, ayant demandé la parole, s'exprime ainsi :

Mes chers Collègues, les ancien élèves de l'École Centrale de la promotion de 1869, dont fait partie notre Collègue Pierre Vauthier, se sont

réunis, il y a quelques jours, dans cette salle pour voir la nouvelle œuvre de leur Camarade dont ils apprécient le talent depuis longtemps; séduits par la beauté de l'œuvre, ils avaient formé le projet d'en faire don collectivement à la Société, mais, le Président Cornuault a revendiqué le privilège de le faire lui-même, en souvenir de son passage à la Présidence, et il n'a voulu accepter que le concours moral de ses Camarades de promotion. J'ai donc le plaisir de vous annoncer, — puisque c'est à moi qu'a été confiée l'agréable mission, — que le Président Cornuault fait don à la Société du beau panneau décoratif que vous avez sous les yeux, et je me fais l'interprète de tous mes Collègues en adressant nos remerciements les plus vifs et les plus chaleureux au Président Cornuault, pour le don généreux qu'il vient de faire à la Société des Ingénieurs Civils de France. *(Longs et vifs applaudissements.*

L'ordre du jour appelle la communication de M. Robert Esnault-Pelterie sur *le Moteur léger R. E. P.*

M. R. Esnault-Pelterie remercie tout d'abord M. Marcel Armengaud, qui a parlé de son moteur à la séance du 4 octobre dernier, à l'issue de la communication de M. J.-A. Farcot.

Il indique ensuite l'ordre qu'il va suivre dans l'exposé théorique et pratique des dispositifs de son moteur : il dira tout d'abord ses idées sur les moteurs légers actuels et déduira des propriétés de leurs dispositifs, la voie dans laquelle il semble logique de chercher pour faire à la fois plus léger tout en restant solide ; ensuite il expliquera la conception de son moteur telle que les idées précédemment exposées la lui ont donnée. Le dispositif général se trouvant ainsi fixé, il présentera son étude au point de vue théorique ; il entrera dans le détail des calculs des dispositifs pratiques ; il fera une description complète de chacune des pièces du moteur; enfin il donnera les résultats obtenus en tant que poids et puissance.

Idées directrices. — M. R. Esnault-Pelterie fait remarquer que dans les moteurs légers actuels ou dans les moteurs d'automobiles, la fatigue imposée aux pièces approche de la limite admissible. Quoique les métallurgistes arrivent à fournir des matériaux très résistants, tels certains aciers supportant 110 kg à la rupture avec 10 0/0 d'allongement, il serait néanmoins imprudent de dépasser, même pour ces aciers, des fatigues de 18 kg. Or ces taux de travail se trouvent atteints dans nombre de vilebrequins d'automobiles. La voie à suivre pour réaliser un moteur léger et solide n'est donc pas celle qui conduirait à réduire les sections et les moments d'inertie des pièces. Le desideratum sera d'égaliser le couple moteur, qui, dans le cas des machines à explosion, n'a d'action que pendant une petite fraction du temps total. A cet effet il faudra disposer le plus grand nombre possible de cylindres autour du même maneton en les plaçant par conséquent en étoile autour de l'axe de rotation du vilebrequin.

M. R. Esnault-Pelterie démontre que, dans un tel système, le nombre des cylindres doit être impair pour que les explosions soient

également réparties. Cette égalité de répartition est extrêmement importante dans un moteur dont toutes les pièces en mouvement sont très légères, car, à cause de la faible masse, toute variation du couple moteur ne pourrait être absorbée par la partie fixe du système qu'au prix d'un violent déplacement angulaire.

Pour la distribution on pourrait employer un arbre à cames ordinaire, tournant deux fois moins vite que le moteur et portant un nombre de bossages égal à celui des cylindres; mais une solution plus simple consiste à n'employer qu'une came pour tous les cylindres.

Supposant que cette came tourne en sens inverse du moteur, M. R. Esnault-Pelterie démontre que, si l'on appelle N le nombre impair des cylindres, la came doit tourner à une vitesse (N — 1) fois moindre que le moteur et doit porter sur son pourtour $\frac{(N-1)}{2}$ bossages.

Il fait remarquer que cette came pourrait aussi tourner dans le même sens que la manivelle, à condition de tourner (N + 1) fois moins vite et de porter $\left(\frac{N+1}{2}\right)$ bossages.

Au point de vue de l'équilibrage, M. R. Esnault-Pelterie étudie tout d'abord l'équilibrage du premier ordre. Considérant successivement les efforts alternatifs dus à chaque piston, efforts qui s'exercent chacun selon l'axe du cylindre correspondant, il les projette individuellement sur deux axes de coordonnées mobiles rectangulaires (le rayon de manivelle et une perpendiculaire à ce rayon, située dans le plan de rotation). Il fait la somme des projections sur chacun de ces axes et trouve ainsi que la composante sur le rayon de manivelle a une valeur constante égale à $\frac{N}{2} m \omega^2 R$, expression où m est la masse des pièces animées d'un mouvement alternatif dans un cylindre. Il constate ensuite que la composante sur le second axe est nulle.

D'autre part, l'étude des inerties du deuxième ordre conduit à constater que les deux projections de la résultante sur les deux mêmes axes sont nulles.

On en conclut que l'équilibrage est mathématiquement réalisable au moyen d'une masse $\frac{N}{2} m$, cette masse étant supposée placée à une distance de l'axe de rotation égale au rayon de manivelle.

Calcul de dispositifs pratiques. — Entrant dans le domaine de la pratique, M. R. Esnault-Pelterie étudie les conditions de fonctionnement d'un moteur à 5 cylindres en étoile. Les nécessités du graissage conduisent à ramener tous les cylindres au-dessus du plan horizontal, pour éviter que quelques-uns ne soient envahis par l'huile. Supposant que dans le moteur en question trois cylindres sont déjà dans les conditions requises, il considère les deux autres cylindres (qui sont placés la tête en bas) comme constituant un groupe à part et fait effectuer à ce groupe une rotation de 180 degrés autour de l'axe du tourillon, de manière à le ramener dans une position favorable. Le groupe, dans son déplace-

ment, entraine son maneton. Il en résulte un vilebrequin à deux coudes analogue à celui d'un *deux-cylindres* ordinaire.

La came, de même, se trouve dédoublée. Il y a lieu de remarquer que, dans le cas particulier la formule générale conduisait à avoir deux bossages à 180 degrés; les bossages décalés retombent donc exactement sur les premiers; la came n'a rien de changé.

M. R. Esnault-Pelterie étudie l'équilibrage du moteur ainsi constitué; il constate que l'expression des inerties contient pour chacun des deux groupes un terme constant, que ces termes constants correspondent à deux efforts moyens constants et que ces efforts sont dans le rapport du nombre des cylindres, c'est-à-dire de 2 à 3; ils correspondent à deux forces parallèles inégales et dirigées en sens contraire. Ils sont donc équilibrables par une masse située extérieurement aux plans de rotation des deux groupes à une distance qu'il calcule. Il montre ensuite un graphique représentatif de ses formules.

Il y a lieu de remarquer que, lorsque l'équilibrage a été ainsi fait, il subsiste deux termes à forme sinusoïdale non équilibrés qu'on peut rapprocher des deux termes sinusoïdaux représentant les projections des inerties sur un axe perpendiculaire au rayon de manivelle. Les premiers sont les produits d'une certaine quantité par le cosinus d'un certain angle, et les seconds les produits de la même quantité par le sinus du même angle. Ces deux forces sont donc les projections sur les axes coordonnés d'un effort constant tournant.

L'angle qui entre dans la partie sinusoïdale de l'expression permet de reconnaître que cette force tourne à la même vitesse que la manivelle, mais en sens contraire; elle serait donc équilibrable à l'aide d'une pièce spéciale qu'un engrenage pourrait faire tourner dans le sens et à la vitesse voulus, mais la pratique montre que cette complication est inutile: la perturbation est négligeable.

M. R. Esnault-Pelterie fait rapidement les mêmes démonstrations pour le cas d'un moteur à 7 cylindres, et signale avec courbes représentatives à l'appui que les perturbations résiduelles sont moins importantes que dans le cas précédent.

Envisageant ensuite la composition des explosions successives et l'aspect qu'offre leur résultante au point de vue de son action sur le maneton, il commence par tracer des diagrammes où il porte sur l'axe des abscisses la course du piston, et, en ordonnées, la pression totale sur le piston. Il trace sur le même diagramme la courbe des masses; et faisant en chaque point la somme algébrique des ordonnées des deux courbes, il en obtient une nouvelle qui représente les efforts réels subis par la bielle, déduction faite des inerties.

Ces courbes, étant obtenues tant pour l'explosion que pour la compression, on s'en sert pour tracer d'autres diagrammes dans lesquels on porte en abscisses les angles successifs dont tourne le vilebrequin, et en ordonnées deux catégories de forces : les actions tangentielles que subit la manivelle (actions qui représentent en somme le couple moteur) et les efforts qu'elle subit suivant son rayon.

La composition simultanée de toutes les courbes tangentielles pour tous les cylindres donne l'allure générale du couple moteur résultant;

la composition séparée des forces tangentielles et des forces radiales dans chaque groupe permet de connaître les conditions de travail des deux têtes de bielles et de déterminer ces dernières.

Description des pièces. — M. R. Esnault-Pelterie décrit toutes les pièces qu'il a réalisées dans la pratique. Il montre le vilebrequin qui, pour les 35 HP qu'il supporte, ne pèse pas plus de 2,50 kg et ne fatigue en aucun point à plus de 15 kg par centimètre carré ; les paliers larges et robustes, qui sont disposés de telle sorte qu'ils prennent appui sur le carter en aluminium par une très grande surface ; les coussinets portés par ces derniers, qui ont une dimension telle qu'ils ne fatiguent pas à plus de 57 kg pour l'un et 42,50 kg pour l'autre par centimètre carré ; les bielles principales et leur dispositif spécial de liaison avec les biellettes correspondant à chaque cylindre (il signale en passant que ces biellettes ne pèsent que 105 g pièce et supportent au moment de l'explosion une pression de 1100 kg) ; les pieds de bielles à doubles surfaces portantes disposées de telle sorte qu'au moment de l'explosion la fatigue des surfaces en contact n'excède pas 180 kg par centimètre carré ; les cylindres, qui sont entièrement symétriques autour de leur axe ; le carter, dont la forme n'est pas compliquée malgré la disposition des cylindres ; les pistons en acier pris dans la masse et dont le fond prend appui sur une collerette intérieure située à mi-rayon ; les soupapes à double levée, qui font l'échappement par une première levée et l'admission en s'ouvrant encore davantage ; enfin, les cames, les culbuteurs, la tuyauterie, le graissage et le refroidissement par ailettes.

L'allumage peut être assuré à l'aide d'une bobine en fonctionnement constant et d'un distributeur en ébonite tournant deux fois moins vite que le moteur et portant une touche envoyant le courant à haute tension à tous les cylindres successivement dans l'ordre voulu.

L'allumage serait également réalisable par une magnéto tournant à une vitesse égale aux 7/4 de celle du moteur.

Résultats obtenus. — Le moteur ainsi réalisé fait de 30 à 35 HP ; sa vitesse de régime est comprise entre 1 200 et 1 500 tours ; il pèse nu 47,50 kg soit par cheval 1,36 kg et en ordre de marche 52 kg, soit par cheval 1,50 kg.

Ce moteur a été fait plus spécialement pour servir à des essais d'avia tion ; lorsqu'il est muni de ses accumulateurs, de sa bobine et de son hélice, son poids n'atteint pas tout à fait 60 kg, soit moins de 2 kg par cheval.

M. R. Esnault-Pelterie termine par une projection cinématographique de son aéroplane, qu'il doit à l'obligeance de M. Gaumont. Cette projection montre le moteur dans l'accomplissement des fonctions pour lesquelles il a été conçu.

M. Armengaud jeune dit qu'en présence des merveilleux résultats obtenus aujourd'hui par les Ingénieurs et les Constructeurs qui s'occupent du problème de l'allègement des moteurs, auquel se lie celui de la locomotion aérienne, la pensée se reporte à plus de trente ans en arrière. M. Armengaud rappelle notamment la communication faite en 1875, à

la Société, par M. Duroy de Bruignac, qui avait donné lieu à des discussions auxquelles avaient pris part M. de Dion, ancien Président, MM. Arson et Maldant; ils avaient exprimé leur foi dans l'avenir de l'aviation, c'est-à-dire du plus lourd que l'air.

Malheureusement à cette époque, on n'était pas arrivé à diminuer suffisamment le poids des moteurs. Pour le moteur à vapeur avec la chaudière et l'approvisionnement, on ne pouvait pas descendre au-dessous de 50 kg par cheval. Le premier moteur à gaz fonctionnant pratiquement, celui de M. Lenoir, approprié au pétrole par M. Hugon, tournait à peine à 100 tours par minute et avait un poids de plus de 100 kg par cheval. Le chemin parcouru depuis est considérable, puisque M. Esnault-Pelterie est arrivé, pour son moteur complet en ordre de marche comprenant le propulseur et les accessoires, au poids minime de 1,800 kg par cheval.

Le colonel Renard, dans une communication qu'il a faite peu de temps avant sa mort, disait « que la sustentation par les hélices, pratiquement » impossible avec les moteurs pesant 10 kg par cheval, commence à être » réalisable avec les moteurs actuels dont le poids est descendu au-des- » sous de 5 kg par cheval et même à un chiffre inférieur. Elle devien- » dra très facile avec des moteurs pesant 2 kg par cheval. » Il concluait « qu'avec des moteurs pesant 1 kg par cheval, on pourra arriver à sou- » lever 160 000 kg », bien entendu avec une machine construite en conséquence.

La prévision du colonel Renard ne tardera pas sans doute à être réalisée, si l'on continue dans la voie indiquée par MM. Levavasseur, Ambroise Farcot et Esnault-Pelterie.

Jusqu'ici, les aéroplanes qui se sont élevés n'ont emporté avec eux qu'un seul homme. En rendant les moteurs encore plus légers, ils pourront en emporter deux, trois et bien davantage même. Ce jour-là, on pourra dire que par l'aviation, comme par l'aérostation avec les dirigeables, on est bien avancé dans la conquête de l'air.

M. le Président remercie M. R. Esnault-Pelterie. Son exposé très remarquable, tant au point de vue mathématique que mécanique et industriel, prouve sa grande compétence et la précision des données scientifiques sur lesquelles il s'appuie. Les succès qu'il a déjà obtenus dans ses expériences sont de nature à faire espérer des succès plus grands encore. La Société suit avec intérêt ses travaux et fait des vœux pour la réussite de ses tentatives hardies. La série de projections par lesquelles il a terminé sa communication a d'ailleurs permis d'assister, pour ainsi dire, à ses essais récents qui semblent devoir faire faire de grands progrès dans la voie de l'aviation, ainsi que l'a dit M. Armengaud.

L'heure étant trop avancée pour permettre d'aborder les deux autres questions portées à l'ordre du jour (Discussion sur les moteurs légers et communication de M. Jouve sur les métillures), ces questions seront reportées à une séance ultérieure.

Il est donné lecture, en première présentation, des demandes d'admission de MM. R. Audra, A. Bonneri, P. Boucherot, M. Campistrou, J. Dumontant, A. Isnard, R. Lesfargues, E. Marchissaux, H. Mignaqui,

J. Palmary, L. Peytral, M. Tillot, M. Tissot, Ch. Tschirret, V. Vérany et G. Zocchi comme membres Sociétaires Titulaires, et de

MM. L. Arbel et H. Brès comme membres Sociétaires Assistants.

MM. H. J. Barbier, M. Bongiovanni, L. Brille, J. Davignon, P. Führmann, P. Gaillard, P. Jackson, G. Jourde, G. de Launay, E. Lefébure, Ch. Magne, L. Marquand, E. Marquet, A. Martiny, P. Robert, A. Salanson, L. de Savignac, G. Viénot sont reçus comme Membres Sociétaires Titulaires;

M. M. Fricker comme Membre Sociétaire Assistant, et

M. L. A. Deligne comme Membre Associé.

La séance est levée à 11 heures.

L'un des Secrétaires techniques,
H. Dufresne.

PROCÈS-VERBAL

DE LA

SÉANCE DU 22 NOVEMRBE 1907

Présidence de M. E. Cornuault, Président.

La séance est ouverte à huit heures trois quarts.

Le Procès-verbal de la précédente séance est adopté.

M. le Président a le regret d'annoncer le décès de MM. :

L. Trudeau, Membre de la Société depuis 1903, Superintendant Général de la Compagnie des Tramways de Montréal ;

E. West, Membre de la Société depuis 1874, Ancien Ingénieur aux Forges et Ateliers de la Chaléassière.

M. le Président adresse aux familles de ces regrettés Collègues l'expression des sentiments de douloureuse sympathie de la Société,

M. le Président a le plaisir de faire connaitre que M. P. Besson a été nommé Officier du Nichan-Iftikar et lui adresse les félicitations de la Société.

M. le Président annonce que la visite que la Société fait chaque année au Salon de l'Automobile aura lieu le samedi 30 novembre, à 10 heures du matin. Le rendez-vous est, comme les années précédentes, fixé à 9 heures trois quarts, sous le Péristyle du Grand Palais. Une circulaire spéciale sera du reste envoyée.

M. le Président dépose sur le Bureau la liste des ouvrages reçus depuis la dernière séance, liste qui sera insérée dans un prochain Bulletin. Il signale plus particulièrement deux atlas de projets, exécutés par les Élèves de l'Institut des Ingénieurs des voies de communication sous la direction de notre savant collègue M. de Timonoff et donnés par lui à la Bibliothèque. M. le Président remercie M. de Timonoff de ce témoignage d'estime pour la Société.

M. le Président rappelle qu'en 1908 doit avoir lieu, à Saint-Pétersbourg, le XI[e] Congrès International de navigation. M. de Timonoff occupe une situation importante dans ces Congrès et les Membres de la Société qui y assisteront trouveront auprès de lui le meilleur accueil.

Le Comité a décidé, comme pour les précédents, d'y faire représenter la Société par des délégués. M. de Bovet a bien voulu accepter d'être l'un d'eux.

M. le Président fait connaître que :

La Chambre de Commerce de Paris centralise dans ses bureaux, 2, place de la Bourse, les offres et demandes d'emploi pour les Anciens Élèves des Hautes Études Commerciales, École supérieure pratique de Commerce et d'Industrie et École Commerciale.

A la suite du concours ouvert par la ville de Genève pour un projet réalisant les meilleures conditions pour l'utilisation de la force motrice du Rhône, deux de nos collègues ont eu leur projet primé : M. Zschokke a obtenu le premier prix et M. Butticaz, le troisième.

M. Ad. Jouve a la parole pour une communication sur *les Métillures, alliages inattaquables aux acides, à froid ou à chaud.*

M. Ad. Jouve présente à la Société des Ingénieurs Civils les résultats pratiques et industriels obtenus dans la construction de l'appareillage pour acides.

Après avoir exposé en quelques mots les principales méthodes de concentration de l'acide sulfurique, il étudie l'utilisation des alliages dits « métillures » pour la construction de tous appareils pour la préparation, distillation ou concentration des acides.

Les « métillures » sont des combinaisons de métaux industriels, tels que le fer, avec le silicium et sous des proportions variables avec chaque cas. Les propriétés de ces produits au point de vue acide sont celles des siliciums ou mieux des ferro-siliciums à haute teneur.

La difficulté résidait dans la réalisation de la construction d'appareils avec ces composés instables.

Les caractères physiques de ces métaux sont à peu de chose près ceux de la fonte, et leur température de fusion est voisine de 1 500 degrés. Ces métaux sont coulés; leur dureté est, de beaucoup, plus grande que celle de la fonte blanche et leur fragilité lui est comparable.

Après avoir exposé les détails de la fabrication des métillures, M. Ad. Jouve présente quelques résultats industriels qui montrent que, dans des cas où la fonte résiste 48 heures et est alors complètement hors de service, les métillures résistent plusieurs mois. Il cite quelques chiffres, dont certains, et non des moins intéressants, indiquent que divers appareils pour l'acide sulfurique et pour l'acide nitrique, mis en œuvre en 1903, sont encore en fonctionnement.

Les métillures s'appliquent à la construction de toutes sortes d'appareils, de formes et de dimensions aussi variées que possible.

Parmi les emplois, on peut citer : les appareils à concentrer l'acide sulfurique directement de 50-52° B à l'acide 66°; la construction de tuyaux d'épuisement pour les mines pyriteuses; les appareils à condensation d'acide nitrique, etc.

Un membre de la Société ayant demandé quelle était la valeur commerciale de ces alliages, M. Jouve indique que les prix de vente varient suivant la teneur en silicium, de 185 f à 250 f les 100 kg.

M. L. Guillet demande à M. Jouve s'il n'a pas remarqué que les résistances acides des ferro-siliciums coïncidaient avec des variations de composition définie de ces alliages, entre autres avec l'existence de Fe^2Si, FeSi, $FeSi^2$.

M. Jouve rappelle les travaux de M. Lebeau et ses propres travaux (sur le magnétisme des siliciures métalliques, Académie des Sciences, 1902), sur la question des composants des alliages siliciés, travaux qui démontrent l'existence seule de Fe^2Si, FeSi, $FeSi^2$.

Or, la résistance acide des métillures n'est favorable que dans le cas où l'on se trouve en présence de ces composés dissous dans un petit excès de l'un des composants. La résistance mécanique est à peu près nulle lorsque la composition centésimale est très voisine de celle de ces composés définis. M. Jouve a vérifié constamment cette observation et cela techniquement aussi bien que chimiquement.

M. Guillet pense, au sujet de l'observation, faite par M. Jouve, de la diminution de fragilité de l'alliage avec le temps, que l'on pourrait probablement invoquer le recuit spontané : l'alliage, prenant un fort retrait, s'écrouit et petit à petit il perd une partie de cet écrouissage par un recuit spontané; ce phénomène a été étudié par M. André Le Chatelier sur des barres écrouies de divers alliages.

Peut-être serait-il intéressant de mesurer cette variation des propriétés mécaniques avec le temps.

M. Guillet demande à M. Jouve de préciser la composition des aciers rapides au tantale ou au titane qu'il aurait employés pour le travail des métillures. Ces aciers sont-ils employés couramment, se trouvent-ils sur le marché, quels intérêts présentent-ils, notamment sont-ils des aciers à coupe rapide, c'est-à-dire ne perdent-ils pas leur trempe par un échauffement à 600 degrés?

M. Jouve répond qu'il a employé, pour percer et travailler les métillures, des aciers titrant jusqu'à 10 et 20 0/0 de tantale. Ces aciers ont été préparés par lui et par alliage direct; même au rouge cerise, ils ne se détrempent pas et peuvent trancher un bloc d'acier trempé.

M. F. Clerc dit qu'on fait aujourd'hui réellement de l'acier au titane.

M. Guillet répond qu'en effet l'épuration des fontes et des aciers par le titane, surtout des aciers moulés, est très répandue; mais il ne croit pas que ces produits, qui finalement contiennent très peu de ce corps, méritent le nom d'aciers au titane, pas plus que les aciers épurés au ferro-manganèse ou au ferro-silicium ne rentrent dans la catégorie des aciers spéciaux.

M. F. Clerc est bien d'accord avec M. Guillet sur l'emploi du titane pour l'épuration des aciers, le titane qui peut rester dans ces conditions ne justifiant pas de les considérer comme des aciers au titane; mais il maintient que des aciers à teneurs importantes de titane ont été fabri-

qués et étudiés sans qu'on les trouve encore couramment dans le commerce.

M. Guillet est bien de l'avis de M. Clerc, puisque lui-même a fait une étude sur des aciers à teneurs importantes en titane, mais il ne pense pas que l'intérêt présenté par ces produits les fasse préférer aux alliages déjà existants.

M. le Président demande si M. Jouve a étudié la résistance des métillures à l'action de l'ozone.

M. Jouve répond qu'il n'a fait aucun essai; mais il est persuadé qu'à 30 0/0 de silicium un ferro-silicium ne sera pas attaqué; un pareil alliage s'obtient actuellement couramment.

M. le Président remercie M. Jouve de sa communication, qui comporte un très grand intérêt.

M. Letombe a la parole pour une Communication sur *les Gazogènes à gaz pauvre.*

L'étude de M. Letombe porte principalement sur les gazogènes destinés à l'alimentation des moteurs à gaz et ce n'est qu'à titre de comparaison qu'il fait allusion aux gazogènes employés en métallurgie et en verrerie.

En principe, un gazogène est un appareil très simple consistant essentiellement en une cuve à paroi réfractaire et contenant une couche épaisse de combustible maintenu en ignition par l'action d'un courant d'air. Si le combustible employé contient des matières volatiles, celles-ci distillent d'abord et, de cette première opération, il reste un résidu solide qui concourra seul à la production du gaz pauvre proprement dit.

Au point de vue des réactions dont un gazogène est le siège, on peut donc supposer que le combustible employé est du coke ou du charbon de bois, c'est-à-dire un combustible ne contenant plus de matières volatiles.

L'oxyde de carbone, qui forme l'élément combustible principal d'un gaz pauvre, dégage, en se formant, 30 0/0 environ de la chaleur contenue dans le combustible à gazéifier : comme les moteurs à gaz ne peuvent être alimentés que de gaz froids, cette chaleur serait perdue si l'on ne procédait à une véritable récupération en mélangeant à l'air insufflé dans le gazogène une certaine proportion de vapeur d'eau. On obtient ainsi, par décomposition, de l'hydrogène, qui reste libre, et de l'oxygène qui concourt à la formation de l'oxyde de carbone.

M. Letombe a déterminé par des expériences directes qu'on obtenait le rendement maximum d'un gazogène en décomposant environ 400 g d'eau par kilogramme de carbone à transformer. Théoriquement, le rendement d'un gazogène pourrait être dans ce cas de 87 0/0; pratiquement, on obtient 80 0/0. Le rendement industriel d'un gazogène est donc très supérieur à celui d'une chaudière à vapeur.

Lorsqu'on dépasse les limites indiquées ci-dessus pour la décomposition de la vapeur, le rendement du gazogène, au lieu d'augmenter, diminue, car il se forme alors en pure perte de l'acide carbonique.

D'autre part, un gaz à forte teneur en hydrogène convient peu aux moteurs à fortes compressions.

M. Letombe passe rapidement en revue les types de gazogènes anciens dont les formes ont inspiré les constructeurs modernes et, après avoir rappelé les beaux travaux du regretté M. Lencauchez sur la question, il arrive aux gazogènes actuels pour moteurs et montre pourquoi dans ces appareils on ne put employer pendant longtemps comme combustible que de l'anthracite ou, dans tous les cas, des charbons à faible teneur en cendres et matières volatiles.

Dans les gazogènes qui ne fonctionnent que sous la simple aspiration d'un moteur, on conçoit, en effet, qu'il faille éviter toute perte de charge importante ou variable, dans les appareils, sous peine de voir la puissance de la machine varier ou diminuer.

M. Letombe préfère le système qu'il appelle par « *aspiration compensée* », qui permet au moteur d'aspirer toujours le gaz dont il a besoin sous une dépression constante, quelles que soient les pertes de charges variables du gazogène et des appareils d'épuration.

L'emploi de charbons bitumineux, de lignites, de bois, etc., a tenté beaucoup d'inventeurs et, dans certains cas particuliers, il peut être, en effet, avantageux de recourir à ces sortes de combustibles. Mais on se heurte alors à la difficulté de se débarrasser des goudrons que contiennent toujours les produits de distillation. On ne peut obtenir dans ce cas de bons résultats qu'en oxydant directement les vapeurs de goudron produites. M. Letombe décrit divers gazogènes qui remplissent ces conditions, mais il fait remarquer que l'avenir des installations à gaz pauvre ne dépend pas de la solution de ces cas particuliers.

Ce qu'il faut arriver à employer dans les gazogènes, ce sont des combustibles maigres, bon marché à cause de leur haute teneur en cendres, M. Letombe donne la description des gazogènes qu'il a étudiés spécialement en vue de l'utilisation de ces combustibles pauvres et dont l'essai en grand vient d'être fait sur un moteur de 800 chx de sa construction. La marche de ces gazogènes est absolument continue.

Si au rendement élevé des moteurs à gaz et des gazogènes vient s'ajouter l'avantage de pouvoir alimenter ces derniers avec du combustible à bas prix, il n'y a pas de raisons pour que les installations à gaz pauvre ne s'étendent pas aux grandes puissances.

M. le Président remercie M. Letombe de son intéressante communication.

M. Letombe a rappelé avec raison les beaux travaux de Lencauchez, le regretté collègue dont le nom fait encore autorité dans toutes les questions de chauffage, mais M. Letombe est lui-même un spécialiste : ses recherches ont largement contribué au développement des applications du gaz pauvre à la force motrice et c'est ce qui donne d'autant plus d'intérêt à sa communication.

Il est donné lecture en première présentation des demandes d'admission de MM. P. Bachelay, H. Bastian, R. Bauret, J. Bourdel, R. Clermonté, Ed. Coursier, F. Gouin, A. Louppe, H. Kapferer,

P. Nolet, J. Quincy, et Ch. Street, comme Membres Sociétaires Titulaires;

MM. V. Marmor, F. Martin, M. Vinot, comme Membres Sociétaires Assistants, et de

M. C.-P. Candargy, comme Membre Associé.

MM. R. Audra, A. Bonneri, P. Boucherot, M. Campistrou, J. Dumontant, A. Isnard, R. Lesfargues, H. Mignaqui, J. Palmary, L. Peytral, M. Tillot, M. Tissot, Ch. Tschirret, V. Verany et G. Zocchi sont admis comme Membres Sociétaires Titulaires, et

MM. L. Arbel et H. Brès, comme Membres Sociétaires Assistants.

La séance est levée à 11 heures vingt minutes.

L'un des Secrétaires techniques :
P. Schuhler.

INSTALLATIONS DE SÉCURITÉ

A BORD DES TANKSTEAMERS (NAVIRES CITERNES) [1]

PAR

M. M. DIBOS

Avant-propos.

Le commencement de ce siècle voit le règne du pétrole à son apogée. C'est le triomphe des moteurs extra-légers que, seule, l'huile minérale pouvait alimenter. Sans entrer ici dans une étude technologique du pétrole et de ses dérivés, on étudiera l'ensemble des précautions à prendre dans la manutention des huiles minérales logées.

On verra tout d'abord, par des exemples, les dangers pouvant résulter de l'inobservation des règles de l'ordinaire prudence, et on indiquera les moyens de préservation à préconiser à terre.

On envisagera ensuite l'importante question de construction navale pour les tanksteamers et les voiliers tanks chargeant en quantités considérables du pétrole en vrac, et on citera les améliorations apportées dans ces navires spéciaux destinés à accomplir, en toutes saisons, de grandes traversées sur les mers les plus diverses et sous toutes latitudes.

On énoncera les accidents maritimes notables dont les causes et effets ont attiré plus spécialement l'attention des Ingénieurs, et on mentionnera les procédés destinés à en prévenir les dangers.

On comparera les sinistres survenus par rapport au nombre des tanksteamers et voiliers tanks actuellement à flot.

On pourra conclure qu'aujourd'hui, grâce aux mesures de sécurité énergiques et radicales usitées, les navires tanks naviguent normalement, et que, toutes proportions gardées, malgré

(1) Voir planches nos 150 et 151.

l'horrifique énoncé des catastrophes décrites, il est constant que le logement en dépôts mobiles des huiles minérales, comme leur logement en dépôts fixes, peut offrir maintenant une grande confiance.

Provenance des pétroles.

On trouve le pétrole :

Aux États-Unis : Kentucky et Tennessee; Canada occidental; Pensylvanie occidentale (oil creek); Virginie occidentale; Connecticut et Caroline septentrionale; Colorado et Utah; Californie;

En Birmanie et à Java, Sumatra, Bornéo;

Au Japon;

En Alsace : Pechelbronn et Schwabwiller;

En Italie : Abruzzes (Tocco et Pescara); Parme, Plaisance et Modène;

En Allemagne : Hanovre et Œlheim;

En Galicie : Galicie et provinces danubiennes, Roumanie;

En Russie d'Europe et d'Asie : Bakou, Apcheron, Caucase, Crimée, Tamau;

En Perse : vallée de l'Euphrate et Kurdistan.

Les productions les plus abondantes proviennent d'Amérique et de la Russie d'Europe et d'Asie.

Je rappellerai aussi que, pour les produits de pétrole provenant d'Amérique :

« Essence White », « Essence gazoline », « Congoline », « White Spirit », « Kérosine », « Gazoline », « Benzoline », sont des essences de pétrole.

Tous produits inflammables et explosifs.

« Cérésine », c'est une huile de graissage pour machines.

Considérations générales.

Sous l'action de la chaleur, les huiles minérales distillent : on obtient déjà des produits gazeux à la température atmosphérique ordinaire; on y trouve de l'éthane (C^2H^6), du butane (C^2H^{10}) et du pentane (C^5H^{12}).

En chauffant davantage (et les rayons solaires peuvent déjà élever suffisamment la température interne du vase clos), on obtient ensuite des produits liquides qui sont : 1° l'éther de pétrole de densité de 0,65, bouillant entre 45 et 70 degrés. Cet éther est un composé de pentane (C^5H^{12}), d'hexane (C^6H^{14}) et d'heptane (C^7H^{16}), et il possède, à la température ordinaire, une tension de vapeur considérable qui rend son maniement dangereux;

2° L'essence de pétrole de densité de 0,720, bouillant de 70 à 120 degrés, composée d'hexane, d'heptane et d'octane;

3° L'huile lampante, de densité de 0,780 à 0,810, bouillant entre 150 et 180 degrés. Elle est formée par les hydrocarbures saturés compris entre l'heptane et l'heptadécane. Elle n'émet pas de vapeurs à la température ordinaire; on peut même y éteindre, par immersion, une allumette enflammée.

Elle est fréquemment accompagnée de produits sulfurés et de carbures éthyléniques dont la formation commence à se manifester à une température supérieure.

Il est évident qu'il existe des différences marquées, au point de vue danger, entre l'essence de pétrole et le pétrole brut. Même dans les pays à climat tempéré ou froid, l'essence fournit beaucoup de vapeurs, même à basse température atmosphérique, et, pour peu qu'une matière inerte s'en imbibe à bord et remplisse en quelque sorte l'office d'une mèche, on est tout surpris qu'au contact d'une flamme nue la combustion se déclare immédiatement.

Toutefois, pour un navire, les dangers sont les mêmes, que ce soit de l'essence ou du pétrole qui s'enflamment.

A priori, on peut définir en deux catégories les desiderata des précautions générales à prendre en vue d'éviter les sinistres :

A. Empêchement d'inflammation;

B. Atténuation de la conflagration.

La proscription de toute flamme de feu nu, ou étincelle, répondra au premier desideratum, mais la question se pose aussitôt de savoir où commence et où finit la zone dangereuse d'inflammation possible du fait de la proximité d'une flamme nue ou d'une étincelle. Citons l'exemple suivant : le 22 décembre 1882, à Exeter (Angleterre), on avait mis en dépôt, depuis un certain temps, des tonneaux d'essence et de pétrole dans une sorte de caverne de rochers close par une porte assez hermé-

tique. Un matin, à la première heure, un homme se guidant avec une lanterne allumée descendit dans le couloir à ciel ouvert précédant la caverne à dépôt. Soucieux d'éviter toute cause de danger, l'homme posa sa lanterne à 53 pieds, soit 17 m environ, de la porte du réduit et ouvrit cette porte. En raison de sa densité spéciale, la vapeur d'essence ondoya vers le couloir et vint prendre feu à la lanterne; il s'ensuivit une explosion formidable et un incendie désastreux.

Dans un local où l'essence est employée dans la fabrication d'objets, de tissus ou de matières, il n'est pas suffisant de proscrire toute lumière à feu nu dans le voisinage immédiat du lieu d'emploi, mais encore à une bonne distance de ce local si celui-ci n'est pas isolé et aéré de toutes parts. Avec le pétrole, ces gros inconvénients sont moindres, mais il convient néanmoins de se méfier si on utilise du pétrole pour les besoins du commerce ou de l'industrie dans un atelier clos.

Le 17 mai 1884, la barque anglaise *A. Gondey*, ayant transporté du pétrole, avait ses cales encore imbibées d'huile minérale. Un orage survint. La foudre frappa le grand mât de la barque qui sauta du fait du mélange des vapeurs de pétrole et d'air des cales.

Le 31 mai 1895, à Harburg, près de Hambourg, un réservoir à pétrole venait d'être vidé et, au cours d'un orage, le fluide électrique frappa le réservoir qui fit explosion.

Dans certaines usines où des matières textiles, des tissus, sont traités par l'essence, soit pour le nettoyage, soit pour l'imperméabilisation, des phénomènes de production électrique sur le drap se présentent. On conçoit que cette électricité est dangereuse au premier chef. C'est ainsi que le 14 décembre 1893, à Bradford, au cours d'une opération d'imperméabilisation d'étoffe par le traitement de la cire de paraffine dissoute dans l'essence de pétrole, et au moment du séchage spécial du tissu, une étincelle électrique jaillit, les vapeurs d'essence prirent feu et un sinistre survint. Il apparaît que le meilleur préservatif réside dans une ventilation artificielle habilement conçue et établie, comme aussi par la pose d'une série de fines brosses métalliques à pointes aiguës fixées à très faible distance du drap et reliées au sol en vue d'une décharge permanente silencieuse et invisible des productions électriques pouvant se manifester.

On recommande, mais il y a controverse, la pose de paratonnerres sur les grands réservoirs remplis de pétrole, car on

n'ignore pas que le fluide électrique atmosphérique a une grande affinité pour ces réservoirs pleins.

Il est élémentaire de se préserver en tous lieux contre les dangers qui se développent du fait des fuites de pétrole généralement quelconques, aussi bien en cours de route que dans les dépôts. Il est résulté, de ces fuites, des sinistres multiples et souvent curieux. Pour n'en citer que deux, comme exemples, il advint qu'à Marboro, le 13 mai 1881, du pétrole, conservé dans des récipients remisés dans une cour, fuyait et coulait dans une cave voisine. Des vapeurs s'accumulèrent dans cette cave et la première personne qui y pénétra avec une lumière, et sans se douter du danger, détermina une violente explosion.

En mars 1884, la route de Newport fut défoncée par une explosion due à une certaine quantité de benzoline répandue et provenant d'un tonneau à robinet non étanche, logé dans une boutique avoisinante.

Tous les récipients, même de faible capacité, ou vases contenant du pétrole ou de l'essence, doivent être rigoureusement couverts. Les barriques ou fûts contenant du pétrole doivent être emmagasinés sous des toitures non combustibles.

L'incendie qui arriva à Broxbarn, le 19 août 1887, est un exemple du danger de laisser un réservoir, même petit, imparfaitement couvert ou clos; une étincelle provenant d'une cheminée voisine détermina le sinistre.

A Hackney, le 17 juin 1896, du pétrole contenu dans des seaux s'enflamma dans les mêmes conditions et un incendie des plus graves en résulta.

Il convient de ne pas laisser à la merci du public, d'empêcher aux enfants l'accès des parcs à fûts vides ayant contenu de l'essence de pétrole ou de l'huile minérale. Il est arrivé que, par gaminerie ou malveillance, des enfants aient approché des allumettes enflammées des bondes des futailles vides et causé des explosions ou des incendies en faisant détoner le mélange gazeux existant dans ces fûts.

On a intérêt à ne point déposer ni accumuler, auprès des parcs à fûts pleins de pétrole, des matières spontanément inflammables de par leur composition. C'est ainsi qu'à Lambeth, le *26 janvier 1893*, un incendie énorme se déclara dans un parc de futailles pleines, parce qu'un amas de chiffons gras se combustionna spontanément au soleil et vint enflammer sur le sol un filet de pétrole qui s'échappait d'un fût.

Mentionnons pour mémoire l'origine des pires catastrophes causées par l'extravagante folie des gens versant du pétrole sur un foyer pour l'activer.

On doit prendre les précautions les plus sévères dans l'emploi de certaines peintures à séchage rapide et de composés siccatifs actifs, car ces mixtures contiennent généralement de l'essence de pétrole à haute dose; si on applique ces mixtures sur des parois ou des objets dans un espace clos, les conditions sont remarquablement favorables pour qu'il se crée, avec l'air ambiant, un mélange détonant. On verra plus loin que c'est dans ces conditions que le navire de guerre anglais *Doterel* périt.

Chaque magasin dans lequel se trouve de l'essence ou du pétrole en récipients métalliques doit être ventilé puissamment, mais cette ventilation ne peut être appliquée aux magasins dans lesquels on conserve de l'essence ou du pétrole logés en fûts *en bois*, car les effets de cette ventilation déterminent le séchage extérieur des douves des barils, et causent des fuites multiples.

Dans chaque magasin, soute, cale, dépôt, où se trouve du pétrole ou de l'essence, il doit y avoir une certaine provision de sable fin à l'effet d'étouffer tout commencement d'ignition.

Il va de soi que l'emploi de l'eau doit être proscrit, car elle véhicule le pétrole enflammé surnageant à sa surface.

Dans les grands réservoirs métalliques, s'il n'existe pas de bouche d'aération recouverte d'une toile métallique, on doit y installer une sorte de soupape de sûreté, pour permettre la libre expansion des gaz au dehors, en cas d'échauffement plus ou moins accentué des tôles à l'extérieur. Le 29 janvier 1898, à Walker Gate, un incendie ordinaire se déclara à proximité d'une ancienne chaudière transformée en réservoir de créosote bien clos. La chaudière éclata : onze personnes furent tuées et beaucoup furent blessées !

La principale précaution pour atténuer les effets d'une combustion d'un réservoir plein de pétrole est d'empêcher le déversement du liquide enflammé. Pour les réservoirs au-dessus du sol, ou les dépôts de pétrole en barils, et en général pour tous vases ou récipients contenant du pétrole ou de l'essence, il est nécessaire de créer autour d'eux une enceinte en maçonnerie ou en talus de terre, ou d'exécuter des tranchées, de manière que, dans aucune circonstance fâcheuse, le liquide, se déversant enflammé ou non, ne puisse s'échapper hors ces limites artifi-

cielles, et même si les réservoirs ou récipients se fendent complètement.

Il va de soi qu'on calcule l'étendue et la capacité de l'espace de sécurité à créer conforme à la capacité des réservoirs pouvant s'épancher totalement.

Il est à noter que, dans certains pays, les désastres d'incendies considérables ont été aggravés par le déversement du pétrole enflammé dans les égouts ou caniveaux, rues, ports, chenaux. A Exeter, il arriva que le pétrole en feu coula dans la rivière, et, dérivant au courant, embrasa un bateau amarré et le détruisit.

En décembre 1881, à Bristol, un dépôt de pétrole prit feu, et l'huile minérale enflammée alla couler dans les égouts causant d'importants dommages. A Anderson Quay, à Glasgow, le 16 janvier 1897, une grande quantité d'huile en feu s'écoula dans les rues, et causa beaucoup de dégâts aux maisons et jardins.

En réalité, les réservoirs qui sont les plus sûrs sont ceux qu'on aménage sous terre, car l'huile ne peut s'échapper, excepté si l'on arrose d'eau ces réservoirs pour chercher à éteindre un incendie, ainsi que cela eut lieu en mars 1890, à Notting Hill.

Toutefois, avec les réservoirs souterrains, on doit veiller à ce qu'il n'existe pas de fuite à travers le sol, et que l'huile n'aille s'accumuler dans des caves, égouts, maisons avoisinants. La recherche des fuites est assez difficile avec ce mode de réservoirs en contre-bas du sol naturel : c'est le seul inconvénient à leur reprocher.

En Angleterre, légalement, la quantité de pétrole qu'est autorisé à contenir n'importe quel dépôt dépend du système adopté pour la conservation de l'huile minérale et de la distance qui le sépare des « constructions protégées », c'est-à-dire renfermant des personnes habitant leur domicile privé, ou des docks, quais, chantiers de bois, ateliers, magasins habituellement fréquentés par un personnel d'ouvriers, d'employés, etc., ou un autre dépôt de pétrole.

Quand il existe un lot de pétrole dans une maison ou magasin, on prescrit d'éviter de le placer aux endroits réservés pour la circulation des habitants ou pour les issues, en cas de danger.

C'est ainsi que trois personnes furent brûlées vives dans un incendie déclaré à Lambeth, leur fuite ayant été arrêtée par le rideau de flammes d'un baril de pétrole qu'on avait maladroitement remisé sous l'escalier.

Il est préférable, quand on conserve du pétrole en faible quantité pour le débit au détail, d'entreposer les fûts à la cave, ou préférablement dans une cour, et d'ajuster un tuyau et une petite pompe à main dans le magasin.

On ne doit jamais transporter du pétrole ou ses succédanés avec des matières explosives. C'est cette impardonnable négligence qui détermina en octobre 1874, sur le Canal de Regent's Park, une terrible explosion. De la poudre et de l'essence se trouvaient sur une même *barge*. Les vapeurs d'essence vinrent s'enflammer dans la cabine où il y avait un petit poêle. La *barge* sauta, détruisant tout dans un rayon de 100 m.

Modes et dispositifs de logement du pétrole en vrac.

Donc, pour les besoins de l'exportation des pétroles, on se sert de *barils*, de *wagons-citernes*, et de *navires-citernes* ou *tanks*.

Les *barils* sont en chêne ou en tôle emboutie et ont une capacité de 180 l environ.

D'une façon générale, à bord des navires, on peut considérer le logement du pétrole brut, *en barils en bois*, comme dangereux. Ce mode de logement parcellaire de l'huile minérale produit un fort coulage en cours de route, et les influences météorologiques, eu égard au caractère essentiellement volatil du pétrole, peuvent déterminer de gros accidents dans les endroits des cales présentant des espaces vides.

Le danger n'est pas moindre, même après le déchargement, et il ne disparaît qu'après complet nettoyage du navire. Autrefois, à Cardiff, une explosion eut lieu à bord d'un navire pétrolier après déchargement des barils, et quoique l'on eût lavé à diverses reprises, à l'eau de mer, les cales et compartiments.

Le coulage des barils pleins a aussi pour redoutable effet d'amener du pétrole filtrant par les fissures des varangues, etc., jusqu'au fond de la chambre des machines et des chaufferies, où il s'accumule insidieusement.

Au départ de Philadelphie, ce mode de logement et d'arrimage a encore lieu, mais il est avéré qu'il est moins fréquent qu'autrefois.

Citons le sinistre du tanksteamer « *Caledonia* ». En 1886, ce navire transportait du pétrole en barils, et, comme quelques

fûts eurent du coulage pendant le voyage, il advint que l'huile minérale ainsi répandue alla humecter la houille destinée au chauffage de la chaudière. Un soutier laissa échapper des étincelles d'une lampe au-dessus de la houille imbibée de pétrole et tout le navire brûla.

Il y a là des dangers qu'on doit éviter par des soins appropriés : asséchement par sciure de bois, ventilation, couverture par prélarts afin d'intercepter les rayons solaires, procédés de refroidissement d'air des cales, etc.

Les *wagons-citernes* sont composés d'un wagon-plate-forme ou truc, sur lequel est fixée une citerne cylindrique en tôle de fer.

En général, on ne relève guère d'accidents survenus du fait de l'adoption des logements du pétrole en vrac dans les wagons-citernes.

Exception est faite pour la catastrophe qui survint le 16 avril 1889, sur le Great Northern Railway, en garant un train convoyant des wagons-citernes de résistance insuffisante contenant de la naphte minérale : l'essence prit feu et le chauffeur et le mécanicien de la locomotive furent brûlés vifs.

Depuis cette époque de semblables et pitoyables sinistres ne se renouvelèrent plus.

Les *navires-citernes* ou *tanksteamers* affectés au transport en vrac du pétrole par mer sont, on le sait, des navires en tôle d'acier qui ont cette différence importante avec les navires ordinaires en ce que la cale est divisée en compartiments étanches contenant l'huile minérale elle-même, d'où le nom de tanksteamers.

Actuellement la charpente métallique est agencée d'une façon très économique : les membrures sont uniques, les renforts souvent formés de profilés simples pour diminuer le rivetage. Les tôles sont à bord tombés; les parois des citernes et les tôles du pont sont faites d'une seule pièce pour supprimer les cornières, le rivetage, etc. En un mot, tout est combiné, aujourd'hui, pour diminuer le prix de revient de la main-d'œuvre chère, c'est-à-dire en partie le rivetage et le matage.

Chaque citerne est surmontée d'une chambre d'expansion laissant la cargaison liquide effectuer aisément sa dilatation et permettant, en outre, d'éviter l'accroissement des amplitudes des mouvements que prend la masse liquide sous l'influence du tangage et du roulis, mouvements qui, s'ils n'étaient ainsi arti-

ficiellement modérés, compromettraient indiscutablement la stabilité du navire porteur.

Tous les compartiments sont réunis par un dispositif de tuyauterie aboutissant à une chambre de pompes au moyen desquelles s'effectue le déchargement.

Indépendamment des water-ballasts de lestage normal, il existe, à l'avant et à l'arrière du tanksteamer, deux compartiments étanches remplis d'eau, qui ont pour but de former isolants séparatifs entre les réservoirs d'huile et le poste d'équipage, et entre les réservoirs et la chambre des machines et chaufferies.

En 1890, on comptait plus de 60 tanksteamers de 1500 à 4000 tx naviguant tant sur l'Atlantique que sur la Méditerranée et formant un tonnage total de 180000 t avec une force de 60000 ch.

En 1906, ce nombre a passé à 236 bâtiments à vapeur de fort tonnage et à 40 voiliers.

Ces 236 vapeurs tanks représentent un tonnage total tendant vers 1 million de tonnes et de près de 300000 ch.

Les 40 voiliers tanks représentent un tonnage total d'environ 70000 t. On verra, toutefois, par quelques considérations rétrospectives de construction navale, qu'il s'est écoulé une trentaine d'années avant que les constructeurs adoptassent, enfin, un type unifié de navire idoine au service spécial à en attendre pour le logement convenable des huiles minérales en vrac à bord.

Considérations rétrospectives navales.

La période de tatonnements.

On contruisit, en 1864, l'*Andromeda* (voilier) de 1871 tx, à MM. W. A. Riedemann, de Geestemünde, classé au Véritas : 3/3 A. 1. 1. Navire composite, portant en tout soixante-douze citernes, qui furent placées en six rangées; ce navire fit avec succès plusieurs voyages entre New-York et Geestmünde.

Comme particularité, on remarquait les réservoirs en trois couches superposées : réservoir de cale, réservoir central, réservoir d'entrepont, faits en tôles de 6 mm fortes allemandes et mis à l'épreuve de résistance à la pression. Les réservoirs étaient

reliés par des conduits. Les courbes, solives, étançons et coudes étaient en fer; le planchéiage en bois de teak.

Dès 1871, en raison de la concurrence que le pétrole russe préparait,au pétrole américain, le commerce américain avait un sujet très sérieux de chercher des économies ultérieures pour le transport du pétrole par l'océan Atlantique.

Évidemment, le chargement en réservoirs, qui n'avait eu lieu qu'isolément, subirait un très fort accroissement; cela était déjà démontré par les débats des armateurs intelligents avec les sociétés de classification de navires, au sujet des meilleurs modèles de systèmes de réservoirs. A cet effet se posèrent les questions :

Du transport par vapeurs;
De l'emploi de voiliers en fer;
De — en bois.

Donc, on prévoyait la transformation des voiliers en bois pour le but cherché.

Des essais timides de ce genre avaient été déjà faits, il y avait une dizaine d'années, en munissant des navires en bois de grandes citernes en fer. Cependant, ces entreprises échouèrent, les navires n'ayant pas atteint les lieux de destination. On avait attribué ces non-réussites à la surcharge et à une fausse application du centre de gravité, en raison du mauvais système d'aménagement du navire et au débordement du liquide en chargement à la partie supérieure des citernes mal closes. De nouveaux essais, qui furent exécutés avec le navire norvégien *Lindesnaes*, la barque américaine *Crusador*, et avec le voilier allemand *Andromeda*, déjà cité, avaient mieux réussi. Notamment, le *Lindesnaes* fit quinze heureux voyages sur l'océan Atlantique. Au sujet du nouvel aménagement de ces navires par le système de réservoirs, on considérait principalement que ces bâtiments devaient satisfaire aux conditions suivantes :

1° Les navires devaient être forts et suffisamment appropriés à cette navigation spéciale. Un voilier précédemment affrété pour ce genre de navigation, le *Jan Mayn*, parut insuffisant et fut rejeté;

2° Pour l'établissement des réservoirs dans les navires, on prit les soins nécessaires pour obtenir la stabilité idoine.

D'après le genre de construction du navire, par exemple, on déplaça l'entrepont ou on chargea du fer comme lest. Pour le

Lindesnaes, l'entrepont fut déplacé; l'*Andromeda* porta du fer comme lest;

3° Comme le pétrole se dilate ou se contracte par le changement de la température, on observa qu'il convenait d'établir des appareils enregistreurs d'étiage des réservoirs. En cas d'expansion, on tint en réserve des réservoirs vides dans lesquels le pétrole pouvait couler.

En cas de diminution de quantité, on songea à un procédé de remplissage du réservoir;

4° On s'occupa de rechercher des procédés de bonne ventilation et de faire entrer de l'air frais dans l'intérieur du navire;

5° Au sujet des matières à employer pour l'établissement des réservoirs, on avait encore de l'incertitude. Quelques techniciens recommandaient des réservoirs en fer, d'autres en bois.

D'une part, on préconise plusieurs petits réservoirs comme condition indispensable pour la sûreté du navire; d'autre part, on considère de grands réservoirs à couloirs comme admissibles. L'*Andromeda*, on l'a vu, avait soixante-douze citernes contenant chacune de 100 à 200 barils. On reconnut qu'il fallait rendre possible le libre accès aux réservoirs.

Pour les réservoirs en fer, on admit qu'ils devaient être soumis préalablement, à terre, à une épreuve de la presse hydraulique;

6° On reconnait que le bon calfatage des navires et la parfaite étanchéité des réservoirs est d'une grande importance. On recommande plusieurs moyens à cet effet, par exemple du ciment et du plâtre.

Le *Lindesnaes* est doublé deux fois et a, en outre, une enveloppe en feutre sur laquelle on a versé les résidus résineux des raffineries de pétrole.

On propose de mouiller les réservoirs d'eau de mer;

7° On vise aussi à ce que les réservoirs soient bien consolidés dans les navires, car, si un seul réservoir est arraché par suite du roulis et du tangage, la sûreté du navire serait sérieusement menacée.

Pour les vapeurs, on exigeait spécialement que la chambre des machines soit séparée des réservoirs si complètement que le pétrole ne puisse suinter jusqu'au-dessous du carlingage sous les foyers des fourneaux des chaudières.

Passons à l'examen de quelques types de navires tanks qui retinrent autrefois l'attention du monde maritime quand ils furent lancés, à des époques déjà reculées.

Notons, en 1873, la construction du *Pressnitz*, vapeur en fer à hélice, de 1 639 tx, sortant des chantiers A. Leslie, à Grimsby, coté A. 1. L.

L'huile est en contact avec les parois intérieures et, en conséquence, il faut prendre de grandes précautions pour rendre étanches les joints et rivures.

Peu de progrès encore sur certains chantiers de navires en 1883, d'après le détail de construction du *Chigwell*, vapeur en fer à hélice, de 1 690 tx, sortant des chantiers A. Swart, à Londres (coté 100 A. 1, mais classé sous réserve). Les écoutilles ordinaires servent de chambres d'expansion. Les cloisons transversales sont établies de façon que chaque écoutille fournisse quatre compartiments. L'huile touche à la paroi intérieure et, par suite, il faut prendre de grandes précautions pour rendre étanches les rivures et les joints.

Ensuite, citons le *Crusader*, vapeur construit en 1886, de 643 tx. Ce bâtiment fut doté d'un système américain breveté, qui consistait en 47 cylindres superposés en trois couches dans le navire. Il effectua plusieurs voyages des États-Unis en Angleterre et on a livré les chargements dans les meilleures conditions. Les cylindres formant citernes ressemblent au dispositif adopté, en 1864, mais plus perfectionné, usité pour le voilier *Andromeda*, déjà cité.

On peut aussi indiquer comme navire à disposition originale de citernes le *Cebah*, vapeur à double hélice, 390 tx (100 A. 1. L., sous réserve), construit par J. Pitoeff, à Cystrakan, en 1886.

Le *Cebah* porte trois citernes, une à chaque côté des chaudières et une transversale dans la partie d'avant du parquet des chaufferies. Ces citernes sont séparées du reste du navire par des cloisons doubles, dont une est étanche. Le navire ne transporte que des résidus de pétrole (astaki), qui forment un liquide épais.

Mais voici que le *Batoum*, vapeur, vient offrir des dispositions bien meilleures qui, fin 1886, présentent d'heureux avantages pour l'époque.

Ce vapeur est du système W. Gray et C[ie], à West-Hartlepool. Il jauge 1 527 tx. La cale est divisée, par une cloison longitudinale et plusieurs cloisons transversales, en compartiments

ayant une longueur de 32 à 36 pieds. Le fond est construit d'après le système cellulaire. L'huile est en contact avec les parois du navire jusqu'à hauteur de l'entrepont; dans celui-ci, au contraire, il a été construit un certain nombre de citernes qui ne touchent ni aux parois du navire, ni au pont supérieur. On a pris des précautions particulières pour prévenir tout danger d'incendie. L'éclairage est fait à l'électricité; les aliments sont préparés à la vapeur. Machine à l'arrière du navire; quatorze réservoirs à pétrole; huit ventilateurs. Les réservoirs sont partout séparés par un intervalle de 4 pieds des parois du navire. En tout vingt-deux compartiments étanches.

De même pour le *Glückauf*, vapeur (coté 3/3. 1. et L. A. 1), construit, en 1886, par MM. W. A. Riedemann, de Geestmünde.

C'est un vapeur en fer à hélice, système Swan.

La cale est divisée en plusieurs compartiments au moyen d'une cloison en long et de plusieurs cloisons transversales; les compartiments sont fermés en haut, soit par le pont, soit par une plate-forme spéciale. L'huile est en contact direct avec les parois du navire.

Charge : 2 600 tx de pétrole (coté 3/3. 1, et L. A. 1). Seize réservoirs.

La machine est à l'arrière du navire et séparée de la cale par une cloison double, avec intervalle vide, large de 4 pieds. En tout quinze compartiments étanches. Tôles en acier. Courbes, pont et cloisons transversales en fer.

Le travail fut fait avec soin, le navire fut bien rivé.

Notons, en 1886, le vapeur *Marquis de Scieluna*, en fer et à hélice, de 1 655 tx. Mutual Shipping and Trading C° North Shields (coté A. 1. rouge).

Avait été construit en 1883. Affrété pour le voyage de Batoum aux ports de l'Adriatique. A été reconstruit trois ans après. On ne se sert du feu que pour les machines et pour la cuisine; l'éclairage est électrique. L'huile est en contact immédiat avec les parois du navire. Ce bâtiment offrait donc aussi de sérieuses améliorations à ce moment.

En 1887, les armateurs sont pleinement satisfaits du *Pollux*, vapeur tank, qui fut destiné à des transports de la mer Noire ou de l'Amérique. Il pouvait charger 1 600 tx de pétrole (coté au Lloyd 100 A. 1.). Construit en acier.

Les tôles étaient particulièrement bien rivées.

La chaudière et la machine étaient à l'arrière du navire et

séparées du chargement. Vingt-quatre réservoirs. Éclairage électrique. Les mâts furent pourvus de paratonnerres. A l'arrière du navire se trouvait un réservoir pour l'eau de lest. Les chaudières pouvaient être chauffées, soit avec du charbon de terre, soit avec des matières liquides inflammables (huile ou naphte). Les parois des réservoirs à pétrole étaient recouvertes d'une matière brevetée, qui ne pouvait être entamée par le pétrole.

Signalons aussi, en 1887, le *Minister Maybach*, vapeur tank, construit en acier, destiné au transport de pétrole chargé en vrac de l'Amérique pour l'Allemagne.

Le navire fut construit d'après le système conique de Swan, dont la qualité la plus importante consiste en ce que le vapeur peut charger une grande quantité de lest sans qu'il soit besoin de pomper de l'eau dans les réservoirs destinés au transport du pétrole.

Ce système empêchait que l'huile ou lez gaz puissent pénétrer dans la cale au lest. Le pétrole touchait directement les cloisons. Éclairage électrique.

En 1887, apparaît encore un beau type de tanksteamer : le vapeur *Chester*, navire en acier, construit dans les chantiers de MM. Russell and C°, Greenock; 2 860 tx, longueur 320 pieds, largeur 39 pieds et creux 27 pieds.

Il fut destiné au transport de pétrole entre l'Amérique et le Continent. Seize réservoirs. Pouvait charger 3 500 tx d'huile. Armateur : Chester Steam and C°.

En 1887, voyageait aussi l'*Émir* (voilier), navire norvégien qui faisait d'heureux voyages d'Amérique à Calais et qui était pourvu de réservoirs à pétrole.

En même temps que ces navires, jugés plutôt remarquables, il en apparaissait d'autres de moindres qualités, ou d'aménagements plus ou moins bien compris.

En Allemagne, il y avait autrefois trois systèmes différents qui furent appliqués pour les navires-citernes à pétrole :

1° Le système de réservoir proprement dit, qui consiste à construire dans le navire de grands réservoirs cubiques en fer, que l'on remplit ultérieurement de pétrole;

2° Le système cellulaire. D'après cette forme de construction, les parois des cellules suivent les formes du bordage extérieur du navire, et sont reliées entre elles par un système de conduits.

De cette façon, ces navires possèdent en quelque sorte un double revêtement;

3° Les parois du navire servent en même temps de parois aux réservoirs.

Ces sortes de navires étaient divisés en compartiments par plusieurs cloisons longitudinales et transversales, dans lesquelles on faisait loger le pétrole en vrac.

Le premier système a été usité jusqu'en 1888. Le vapeur *Sriet* construit à Stockholm, appartenant à la Compagnie Russe de Navigation à vapeur, a été construit selon ce sytème. Il possédait huit réservoirs, dont six destinés au pétrole et deux au chargement ordinaire. Il faisait la navigation de Batoum à la mer du Nord et a eu de bons voyages, dès le début.

Les machines se trouvent à l'arrière et sont séparées de la cale à l'huile au moyen d'une soute transversale et d'une cloison étanche.

La cale à l'huile a une longueur de 140 pieds et est divisée en plusieurs compartiments au moyen d'une cloison longitudinale et de plusieurs cloisons transversales qui montent toutes jusqu'au pont supérieur. On a construit une citerne en chacun de ces compartiments. Les avantages de ce principe sont que les citernes peuvent être examinées en tous temps, et éventuellement réparées, et que le système de ventilation est aussi complet que possible.

Le vapeur anglais *Fergusson*, construit en 1886, et coté par le *Lloyd* de Londres, n'a pas été disposé de la même manière.

C'est un vapeur en fer à hélice, jaugeant 1551 tx à I. M. Lennard and Sons, Middlesbrough, coté 100 A. 1, et classé sous réserve.

On remarque que, dans la cale, sous l'entrepont, se trouvent deux rangées de grands réservoirs en fer, qui s'adaptent exactement à la forme du navire. L'objection principale contre ce système semble consister dans la difficulté d'atteindre sous les parois et sous les fonds des réservoirs. Il est impossible d'examiner le bordage intérieur du navire, et il n'y a pas moyen d'exécuter des réparations qu'avec de grands frais. En outre, des gaz peuvent s'accumuler facilement dans des coins inaccessibles et causer éventuellement une explosion.

Le troisième système était une invention du temps, et devait diminuer les frets afférents aux deux premiers systèmes et rendre ces frets plus lucratifs. La Compagnie du Lloyd's Registre fit à ce sujet des études très approfondies et, après plusieurs projets demeurés sans exécution, elle se décida seulement en

1886 à faire exécuter une construction neuve d'après ce troisième système.

La maison Lane et Mac Andrew, à Londres, entreprit cette construction d'après la commande de M. Alfred Swart. Le navire était également destiné à la mer Noire; il fut éclairé par l'électricité et la cambuse fut chauffée par la vapeur.

Le bureau Véritas, à Paris, surveillait aussi, en 1886, une construction neuve d'après ce système, au chantier de MM. W. G. Armstrong Mitchel et C°, à Newcastle. Le navire fut construit pour compte continental; en outre, il fut fait quantité de demandes aux bureaux de classification par les armateurs d'anciens vapeurs désirant la transformation de leurs navires en tanksteamers pour l'exportation du pétrole.

Le Lloyd a demandé, en ces cas-là, que les anciens navires soient pourvus de réservoirs en fer et qu'ils soient disposés d'après le système cellulaire, tandis que les armateurs désiraient que les navires fussent simplement divisés par des cloisons, et que le pétrole fût versé dans ces sortes de réservoirs!

La transformation, dans ce dernier genre, rencontra des objections, attendu que le pétrole décape les fers oxydés et que, par suite, le pétrole suinterait à travers les jointures des rivets et des tôles ainsi décapées.

Les journaux français de l'époque annoncèrent que les armateurs anglais se trouvaient embarrassés par les mesures sévères du Lloyd en ce qui concernait leurs anciens navires non construits spécialement pour le but indiqué, et l'on paraissait vouloir, à ce moment, agir auprès du bureau Véritas, pour que celui-ci accepte la classification refusée par le Lloyd. Le Véritas, pressenti, refusa naturellement.

Pour tous les trois systèmes, il importait surtout que la chambre des chaudières fût séparée si complètement du reste du navire, que, dans aucun cas, le pétrole ne puisse suinter depuis les réservoirs jusque près du foyer des chaudières. Au moyen de doubles cloisons, dont l'espace vide qui se trouve entre elles fut rempli d'eau, on para à ce danger; cette mesure de prudence est incontestablement nécessaire.

Ensuite on se trouva dans l'obligation d'émailler les réservoirs, attendu que les parcelles de rouille, ou d'oxyde de fer, diluées, rendent le pétrole d'un mauvais aspect, louche et, par suite, difficile à vendre.

On s'inquiétait aussi de ce que, pour les vapeurs, il fallait

prendre de meilleures mesures au sujet des effets de l'expansion et de la contraction du pétrole en vrac, ainsi que pour la répartition exacte du centre de gravité, et on s'ingéniait à rendre ces mesures plus efficaces que celles qui avaient été indiquées pour les voiliers.

Relatons encore que, à cette époque, aussi bien à Londres qu'à Anvers, les administrations des ports firent établir les bassins nécessaires, ainsi que les appareils mécaniques pouvant rendre possible une vidange rapide des réservoirs des navires tanks.

Quelques Compagnies de chemins de fer mirent aussi les wagons utiles en circulation, et, même à Londres, on commença déjà à faire la vente au détail du pétrole dans les rues, au moyen de voitures construites spécialement.

En 1888, le nombre des vapeurs pétroliers augmentait déjà très sensiblement non seulement en Angleterre, mais aux États-Unis. A cette époque furent lancés le *Russian Prince* qui, semblable au *Gut Heil*, portait 4000 t et mesurait 94,50 m de long sur 12,20 m de large et 8,60 m de creux; l'*Elbruz*, construit pour la Keresene Cy of London, et également de 4000 tx; la *Caroline Robert de Massy* pour MM. Craggs de Middlesbrough, mais qui fut affrétée par M. André, de Paris, à l'effet d'effectuer le transport du pétrole en vrac de Batoum en France. La *Caroline Robert de Massy* avait 81 m de long et portait 2150 t en plus de 230 t de charbon dans ses soutes.

Puis fut lancé, à Southampton, un remarquable navire à voile pétrolier, *la Ville de Dieppe*, pour le compte de MM. Roppe, de Dieppe, et construit sous la surveillance du Véritas. Un seul voilier pétrolier avait été lancé l'année d'avant; c'était le *Hainaut*, construit par un armateur d'Anvers.

Les caractéristiques de *la Ville de Dieppe* étaient les suivantes :

Longueur totale	66,45 m
Longueur entre perpendiculaires	63,10 —
Largeur.	11,05 —
Creux sous galbords.	6,73 —
Creux sur cale	6,38 —
Pétrole	1 700,00 tx
Tirant d'eau en charge.	5,80 m

Cale divisée en douze compartiments par sept cloisons transversales et une cloison longitudinale.

Une chambre d'expansion de forme parallélipipédique sur chaque compartiment.

Ce navire naviguait avec un lest d'eau contenu dans trois ou quatre de ses compartiments à pétrole, quand il retournait à son port de chargement; aussi les cloisons étaient-elles renforcées en conséquence.

Les mâts ne descendaient pas jusqu'à la carlingue, mais s'arrêtaient au faux pont, leurs emplantures reposant sur le pont principal qui est en fer et bien étanche. En dessous de chaque emplanture se trouvaient une cloison transversale et la cloison longitudinale, cette dernière étant solidement renforcée par des goussets et des tôles en forme de porques. Les parties du pont supérieur que traversent les bas-mâts étaient renforcées par des tôles en diagonale et les emplantures en fer étaient elles-mêmes fortement boulonnées sur le pont principal renforcé à cet effet. Le faux pont était spacieux et l'on y pénétrait par deux panneaux. Les six panneaux qui formaient le sommet des chambres d'expansion des six compartiments transversaux étaient couverts par des couvercles en tôle que l'on enlevait facilement pour la ventilation intérieure. L'appareil de pompage était manœuvré à la main, mais combiné de façon à être aisé.

Il y avait deux jeux de tuyaux : l'un pour le pétrole et l'autre pour l'eau appelée à servir de lest.

Dès 1893, on avait déjà reconnu qu'un grand nombre des navires pétroliers alors à flot nécessitaient des réparations par suite d'avaries en cours de navigation par mauvais temps, mais que le nombre de ces navires avariés dépassait très sensiblement la moyenne des navires cargos ordinaires ayant souffert dans les mêmes conditions de mers dures.

Après recherches et enquêtes, on fut amené à conclure qu'il convenait pour les tanksteamers d'attribuer l'excès des infortunes de ces bateaux pétroliers à l'absence de précision suffisante des grosses pressions auxquelles les carènes sont soumises, principalement lorsque, par mauvais temps, les capitaines donnaient l'ordre de remplir un ou deux réservoirs avec de l'eau de mer. Les pressions irrégulières et les heurts internes de cette énorme masse liquide, en mouvement du fait des oscillations au tangage et au roulis du navire, étaient très fâcheux et pouvaient dépasser les limites de sécurité de résistance des parois métalliques prévues par les constructeurs.

Les armateurs furent avisés, mais il n'apparaît pas, à cette

époque, qu'on se soit occupé sérieusement d'éviter de pareilles compromissions de stabilité et de résistance. Le cloisonnement et le barrotage étaient insuffisants et on se décida, enfin, trop tardivement, à remédier à ces inconvénients des plus graves.

Vapeurs transportant alternativement du pétrole et des marchandises.

Il existe une quinzaine de vapeurs de ce type, tous appartenant à la Société Samuel, de Londres, et disposés pour le transport du pétrole en vrac, de Batoum aux ports de l'Inde Anglaise et de façon que leurs compartiments à pétrole puissent recevoir des marchandises au retour. Lors de la construction du *Volute*, ce navire a été visité à Liverpool par un grand nombre de personnes appartenant au monde maritime et désireuses de se rendre compte de l'installation qui permettait d'arriver à ce résultat pratique et, par suite, très profitable pour les amateurs. A cet effet, les vapeurs de cette Société, que l'on désigne assez généralement sous le nom de *Shell Line*, parce que les navires portent tous des noms de coquillages, ont leur coque divisée en douze compartiments absoluments étanches aussi bien pour l'eau que pour le pétrole et même pour la vapeur. Ces compartiments sont eux-mêmes divisés par une cloison longitudinale sans ouvertures et s'étendant de l'avant à l'arrière. En outre de ces compartiments, il y a les coquerons avant et arrière, les compartiments des pompes, les cofferdams et autres subdivisions étanches qui portent à vingt-neuf le nombre des compartiments du navire.

Ceux qui contiennent le pétrole sont nettoyés par un procédé spécial lorsqu'ils doivent recevoir des marchandises. Pour cela, une fois le pétrole aspiré par la pompe du bord, à raison de 400 t à l'heure, on enlève le résidu qui reste dans le fond avec des seaux et des éponges ; on inonde ensuite les compartiments avec de l'eau salée, puis on les remplit de vapeur après les avoir hermétiquement fermés. On les nettoie ensuite en grattant les endroits où il reste des corps gras, puis on lave à grande eau. On place alors dans ces compartiments un système de vaigrage imaginé par M. Alderman Samuel et qui permet d'embarquer les marchandises les plus fines et les plus délicates aussi bien que les plus grossières, selon les nécessités du moment. Mais, ce n'est

pas tout, car, une fois le chargement arrimé, il est maintenu en parfait état, grâce à un système de ventilation pour lequel on utilise le tuyautage qui sert à aspirer le pétrole au moyen des pompes. Ce tuyautage sert alors à refouler de l'air dans les compartiments contenant les marchandises au moyen d'un puissant ventilateur placé dans le compartiment des pompes, et actionné par un moteur indépendant. On ventile de cette façon chaque compartiment l'un après l'autre. Les résultats sont si remarquables que cette ventilation rend ces navires plus aptes que les vapeurs ordinaires à transporter des marchandises fines dans de bonnes conditions.

On ne constate jamais la moindre humidité dans les compartiments, malgré les variations de température les plus prononcées et les marchandises ont toujours été livrées en parfait état.

Le *Volute*, par exemple, a transporté plus de 300 000 t de pétrole, depuis qu'il navigue, et les visiteurs ont pû constater, à Liverpool, qu'il n'y avait pas la moindre odeur de pétrole dans les cales contenant les marchandises du chargement de retour. Ce système nécessite, par conséquent, de nombreuses installations mécaniques à bord et il n'y a pas moins de vingt-huit machines indépendantes. Sur d'autres navires de la même Société, mais un peu plus grands, le nombre de ces machines est encore plus élevé. De plus, les navires pourvus de ce compartimentage sont presque insubmersibles, car ils pourraient flotter quand bien même leur compartiment le plus spacieux, qui est celui des machines, viendrait à être envahi par l'eau.

On peut donc dire que la maison M. Samuel et Cie, de Londres, a rendu un grand service au commerce maritime du pays, en faisant construire des navires de ce type, en même temps qu'elle augmentait les recettes du Canal de Suez par les nombreux voyages qu'elle effectue entre Batoum et Bombay. Et cependant une violente campagne de presse avait été menée contre elle par certains journaux maritimes de Londres, qui soutenaient que ces navires ne pourraient pas passer le Canal de Suez sans risquer d'avoir leur cargaison de pétrole enflammée, ce qui aurait eu pour conséquence d'incendier tous les navires se trouvant à proximité dans le canal. C'est alors que la Compagnie du Canal fit construire un grand remorqueur muni de puissantes pompes et ayant des compartiments à pétrole de façon à pouvoir alléger au besoin les vapeurs pétroliers dans le cas où ils s'échoueraient dans le canal et entraveraient la navigation.

Règlements de la Compagnie universelle du Canal maritime de Suez

EXPLOITATION

Règlement de navigation

Annexe pour les navires chargés de pétrole en vrac.

Tout navire chargé de pétrole en vrac, se présentant pour entrer dans l'un des ports du Canal, doit se faire reconnaître en hissant au mât de l'arrière l'un des signaux suivants :

De jour : un pavillon rouge surmontant une boule ;

De nuit : un feu blanc au-dessous de deux feux rouges.

Si le navire transite, il doit conserver ces signaux pendant toute la durée de son transit.

Avant d'entrer dans le Canal, le capitaine doit signer et remettre aux agents de la Compagnie l'une des deux déclarations ci-contre :

1° Déclaration A, si le navire est chargé exclusivement de pétrole d'un point d'inflammation égal ou supérieur à 23 degrés centigrades (73 degrés Fahrenheit) ;

2° Déclaration B, si le navire a dans son chargement des produits : pétrole ou dérivés, tels que gazoline, benzine, etc., d'un point d'inflammation inférieur à 23 degrés centigrades (73 degrés Fahrenheit).

Dans ce dernier cas, le navire est soumis aux prescriptions spéciales suivantes :

1° Il est tenu de se faire remorquer par un remorqueur de la Compagnie pendant toute la durée de son transit ;

2° Il lui est interdit de transiter de nuit.

Déclaration A

Je soussigné............ commandant le navire........ chargé de pétrole en vrac et appartenant à.......... armateurs, déclare, comme représentant des propriétaires dudit navire, ce qui suit :

1° Ce navire est classé spécialement pour le transport du pétrole en vrac dans la catégorie (1) :

✠ 100 A1 du Lloyd anglais ;
✠ ⊖ 3/3 1.1. du Bureau Véritas ;
✠ 100 A4 du Lloyd Germanique (Berlin) ;

(1) Ne laisser que l'indication correspondant au classement du navire.

2° Aucune des citernes du navire n'est d'une capacité supérieure à 500 t de jauge (tonnes de 2,83 m³ ou de 100 pieds cubes anglais) et ne peut déverser son contenu dans une autre citerne par aucune ouverture ou solution de continuité des parois ;

3° Le pétrole contenu dans les citernes est exclusivement du pétrole raffiné, de qualité uniforme et dont aucun des échantillons pris au port d'embarquement n'a donné un point d'inflammation inférieur à 23 degrés centigrades (73 degrés Fahrenheit), cette température étant constatée conformément aux procédés d'épreuve en vase clos reconnus et pratiqués dans le commerce des pétroles, comme par exemple le procédé Abel ou toute autre épreuve en vase clos d'une exactitude non inférieure ;

4° Il n'existe pas, en dehors des citernes, de produits — pétrole ou dérivés tels que gazoline, benzine, etc. — d'un point d'inflammation inférieur à 66 degrés centigrades (150 degrés Fahrenheit), température constatée comme il est indiqué au paragraphe 3.

A *le*

Le capitaine,

DÉCLARATION B

Je soussigné........ commandant le navire......... chargé de (1) .... en vrac et appartenant à........... armateurs, déclare, comme représentant des propriétaires dudit navire, ce qui suit :

1° Ce navire est classé spécialement pour le transport du pétrole en vrac dans la catégorie (2) ;

✠ 100 A1 du Lloyd anglais ;
✠ ⊖ 3/3 1.1. du Bureau Véritas ;
✠ 100 A du Lloyd Germanique (Berlin) ;

2° Aucune des citernes du navire n'est d'une capacité supérieure à 500 t de jauge (tonnes de 2,83 m³ ou de 100 pieds cubes anglais) et ne peut déverser son contenu dans une autre citerne par aucune ouverture ou solution de continuité des parois ;

3° Tous les produits d'un point d'inflammation inférieur à 66 degrés centigrades (150 degrés Fahrenheit) — cette température étant constatée conformément aux procédés d'épreuve en vase clos reconnus et pratiqués dans le commerce des pétroles,

(1) Spécifier la nature du chargement.
(2) Ne laisser que l'indication correspondant au classement du navire.

comme par exemple le procédé Abel ou toute autre épreuve en vase clos d'une exactitude non inférieure, — sont contenus dans les citernes du navire ;

4° Il existe, à bord, des matières non dangereuses et facilement déchargeables (eau, charbon, mazout, etc.) en quantité suffisante pour qu'on puisse, le cas échéant, pendant la traversée du canal, réduire le tirant d'eau du navire, de 50 cm (0,50 m) par le déchargement de ces matières (3)............... ;

5° Le navire sera muni, pendant toute la durée du transit, de deux canots d'amarrage constamment en état d'être immédiatement utilisés.

A le

Le capitaine,

Chargements et Déchargements

Pour certains déchargements de cargaison de pétrole, les tanksteamers n'entrent pas dans les ports, mais vont en des points déterminés de la côte où sont disposés des moyens de transbordement spéciaux au droit des usines toujours soigneusement situées à une certaine distance des agglomérations urbaines.

C'est ainsi que les vapeurs pétroliers de la maison Deutsch n'entraient pas dans le port d'Alicante. Ils mouillaient en dehors, du côté de l'usine. Deux pailebots ou chalands nommés *Lucia* et *Margarita*, et spécialement construits pour cette destination, servaient aux opérations de déchargement. Ces *lighters* ou allèges allaient décharger à un petit quai près de l'usine, où une pompe aspirante et foulante envoyait par une tuyauterie fixe l'huile minérale à la raffinerie.

En raison du brassiage, les tanksteamers devaient mouiller assez loin, hors du port, et vers l'ouest de la plage.

Mais, généralement, les tanksteamers et les voiliers tanks prennent leurs cargaisons, ou les débarquent, en accostant à des appontements spéciaux où se trouve établie en permanence une tuyauterie provenant de l'usine ou du dépôt à terre. On raccorde la tuyauterie fixe avec celle du navire. L'huile est refoulée par des pompes mécaniques fixes établies à l'usine ou aspirée par les pompes du bord ou réciproquement, ainsi que je l'ai précédemment indiqué succinctement dans ce qui précède.

(3) Indiquer la nature et le poids de chacune de ces matières.

Exemples de sinistres.

A bord des navires, les explosions de pétrole ne datent pas seulement du jour où l'on a commencé à transporter un liquide inflammable dans des récipients et bateaux-réservoirs, et il me parait ne pas être hors de propos de rappeler quelques accidents dus au mélange d'air et de vapeur de pétrole.

D'après les travaux de Boverton Redwood, et autres Ingénieurs spécialisés dans la matière, j'examinerai notamment, et tout d'abord, les sinistres remarquables qui se sont produits en Angleterre.

En 1870, sur l'*Hercules*, de la Marine britannique; en 1880, sur le vapeur *Coquimbo*, de la Pacific Steam Navigation Company, et, en 1881, sur le *Doterel*, de la Marine britannique, des explosions survinrent par inflammation d'un mélange, avec l'air, de vapeurs hydrocarbonées d'essence qui s'échappaient d'un siccatif emmagasiné en pots sur ces divers bâtiments.

Sur le *Doterel*, la catastrophe fut formidable : l'explosion des vapeurs de pétrole mélangées à l'air de la cale entraina celle de la soute aux poudres; le vaisseau sauta et huit officiers et cent quarante-trois hommes d'équipage furent tués.

Dans cette même année 1881, deux autres accidents moins graves furent imputables à la même cause qui s'était présentée à bord de deux autres navires de guerre de la Marine royale.

En 1884, à bord du navire *Hawarden Castle*, une fuite se produisit à un pot de peinture logé dans le magasin avant; cette peinture contenait une forte proportion de coaltar; des vapeurs de pétrole se dégagèrent et l'explosion survint.

Il en fut de même sur le *Thorndike* où l'accident fut causé par inflammation d'un enduit à base de coaltar.

De 1871 à 1874, le transport de l'essence fut l'occasion de plusieurs accidents : trois bateaux furent victimes d'une explosion de benzoline. Dans l'un de ces cas, le rapport du colonel Majendie, qui fait autorité en la matière, conclut à la formation d'un mélange explosif d'air et de vapeur de benzoline qui serait arrivé par infiltration à 10 ou 12 m du magasin et, rencontrant une lumière, aurait pris feu; la flamme, se propageant ensuite, aurait mis le feu aux poudres.

En 1877, 1881, 1886, 1888, 1889, à mesure que la consomma-

tion du pétrole augmente, on voit se multiplier parallèlement les explosions dues à la benzoline.

Un des plus remarquables de ces accidents est celui de la barque *Kohinoor*, en 1888.

Ce bâtiment, lorsqu'il sauta, était chargé de pyrite, mais il avait, peu de temps auparavant, transporté du naphte, et l'enquête démontra que sa ventilation avait été insuffisante : le mélange détonant avait donc pu s'emmagasiner dans diverses parties de la barque et un cas fortuit l'alluma.

Ce n'est d'ailleurs pas seulement dans le transport des huiles minérales que leur vapeur, mélangée à l'air, peut produire de dangereuses explosions. Un des cas les plus remarquables est celui de l'accident occasionné, en 1879, sur les chantiers d'un tunnel de la voie ferrée San-Jose-Santa-Cruz, par la rencontre d'une veine de pétrole.

En 1887, on observa dans les égouts de Rochester, à New-York, une série d'explosions à la suite du déversement d'une assez grande quantité de naphte. Je ne parle pas des petits accidents presque journaliers qui se manifestent dans les dépôts d'huile minérale. Ce qu'il faut surtout retenir, c'est le fait que la vapeur d'huile minérale, capable de constituer à la longue avec l'air un mélange explosif, peut se répandre en quantité considérable dans une pièce sans que les personnes qui y travaillent s'en aperçoivent. La propriété de former avec l'air un mélange explosif n'est pas limitée à la vapeur des huiles minérales, et le sulfure de carbone, l'éther et l'alcool, etc., par exemple, occasionnent, par leurs vapeurs, un nombre d'accidents au moins égal à celui des catastrophes qu'on peut attribuer au pétrole. La genèse en est identique, et il serait superflu d'entrer ici dans de plus longs détails.

Le premier accident grave qui se soit produit dans un navire pétrolier est celui du *Petriana*, en 1886. Ce bâtiment avait amené de Russie en Angleterre environ 2100 tx de kérosine inflammable à 26 degrés, répartis dans six réservoirs.

En dessous de ces six réservoirs à l'huile, s'en trouvaient d'autres où l'on introduit de l'eau comme lest. Le déchargement avait eu lieu; le navire avait subi des réparations, et on faisait l'essai hydraulique de résistance des compartiments à lest lorsque se produisit une explosion, ou plutôt une combustion rapide dans la chambre à huile n° 6; il y eut douze victimes. On ne pouvait, dans ce cas, supposer qu'il se fût produit de la

vapeur en quantité notable, le pétrole en question étant peu inflammable ; d'ailleurs, on avait, les jours précédents, travaillé à plusieurs reprises dans le local de l'accident avec de la lumière non protégée ; il était impossible d'attribuer le sinistre à la présence de siccatifs spéciaux comme ceux dont la présence sur divers bâtiments de la Marine britannique avait été si nuisible ; les chaudières, fort éloignées de la chambre n° 6, et d'ailleurs non allumées depuis quinze jours, n'avaient pu non plus être la cause de l'explosion.

L'Ingénieur Redwood, appelé comme expert pour déterminer les circonstances dans lesquelles avait pu se produire le sinistre, arriva aux conclusions suivantes : *une certaine quantité d'huile avait dû s'infiltrer des réservoirs destinés à la contenir dans celui où on introduit l'eau qui forme lest.*

En vertu de sa moindre densité, l'huile reste toujours à la surface de l'eau ; lors donc qu'on introduisit de l'eau dans la partie inférieure du bâtiment et qu'on la comprima dans les essais de résistance, l'huile fut appliquée avec force contre la surface intérieure des réservoirs à pétrole, et la compression fut suffisante pour déterminer l'introduction, dans le réservoir adjacent, d'une quantité de buée minérale invisible dans la demi-obscurité du fond de cale, et capable, au bout d'un certain temps, de constituer avec l'air un mélange détonant, dont une lumière à feu nu quelconque détermina effectivement l'explosion. Ces phénomènes étaient alors si mal connus que l'expert lui-même déclara qu'avant l'explosion il n'aurait soupçonné aucun danger. Après coup, on découvrit qu'outre les légères fissures qui existent toujours aux réservoirs, même les plus étanches, le fond de celui où l'accident se produisit présentait un trou dû à l'absence d'un rivet ; un homme qui y avait travaillé se rappela avoir été incommodé par l'odeur du pétrole, et, enfin, M. Redwood constata, avec de l'huile minérale de même qualité, qu'elle se convertit très facilement en une sorte de buée de pétrole qui s'enflamme à la température de 15 degrés. A proprement parler, il n'y eut pas, dans le cas du pétrolier *Petriana*, une explosion, mais bien une combustion très rapide.

Voyons maintenant, en France. L'accident important qui vient ensuite par ordre chronologique est l'explosion du vapeur français *Ville-de-Calais*, dans le port de Calais, en octobre 1888. Le pétrole brut qu'il rapportait d'Amérique avait été déchargé, et on remplissait d'eau, pour faire lest, le réservoir à huile n° 3,

situé vers le milieu du bateau, lorsque l'air chargé de vapeur de pétrole que l'eau chassait de ce réservoir prit feu et détermina une violente explosion. Le pétrole brut en question donne des vapeurs abondantes à des températures plus élevées; il contient, en effet, la gazoline et la benzoline qu'on en extrait dans les raffineries, et il est tout naturel qu'il se soit formé, par la rentrée de l'air dans le réservoir, un mélange explosif.

Pendant qu'on envoyait de l'eau dans le réservoir, tant que la trappe de 90 $\times$ 120 cm qui le recouvre restait fermée, ce mélange ne se répandait dans l'atmosphère qu'à la hauteur du sommet du grand mât (des tuyaux de 60 mm amènent les gaz de chacun des réservoirs à l'intérieur de ce mât qui est creux et forme cheminée débouchée en haut), il n'y avait donc aucun danger à redouter; à un moment donné, on souleva la trappe, et il est vraisemblable qu'au même instant on alluma une allumette; celle-ci, en contact avec la masse entière de mélange détonant, y mit le feu. Le navire fut détruit. On eut à déplorer plusieurs morts et des dégâts furent occasionnés dans le port, sur les quais et jusque dans la gare maritime.

En décembre 1889, le vapeur *Fergusons* fut détruit dans le port de Rouen par une double explosion; la première démolit l'arrière du bateau et mit le feu aux 200 ou 300 t de pétrole qui y restaient encore; une heure un quart plus tard, une deuxième explosion se produisit et complétait l'œuvre de destruction.

Ce navire n'avait pas été construit pour servir au transport du pétrole en vrac; on y avait installé, après coup, trente-deux compartiments d'une contenance totale de 1 200 tx, outre quatre réservoirs régulateurs. Pour décharger le pétrole, on était obligé de manœuvrer des robinets placés sous le pont sur le parcours des tuyaux d'aspiration; il paraît bien évident qu'un mélange explosif se forma dans l'espace compris entre le pont, la coque et les réservoirs à huile, et que le feu y fut mis par une étincelle électrique produite accidentellement sur un réseau de fils: cet espace étant éclairé par des lampes à incandescence.

L'accident occasionné en janvier 1890, sur la rivière Wear, par le pétrolier *Wild Flower*, ne mérite de retenir notre attention qu'à un point de vue : le déchargement fait à Rouen du pétrole que ce bâtiment apportait d'Amérique avait été incomplet. En pompant l'eau du lest, on enleva en même temps une certaine quantité d'huile qui se répandit à la surface de la

rivière et prit feu, on ne sait comment, au grand dommage de tous les navires environnants.

Cet exemple montre quelles précautions il faut prendre avec les chalands pétroliers de rivière.

L'explosion du *Tancarville*, le 11 avril 1891, fut très violente, bien que les effets en fussent très localisés. Ce bâtiment à vapeur avait été construit deux ans auparavant et servait au transport du pétrole brut de Philadelphie au Havre; il était depuis trois semaines en réparations à Newport lorsque l'accident se produisit. L'enquête sur les causes fut confiée à M. Redwood, qui ne put déterminer, d'une façon absolument certaine, l'endroit où l'explosion avait eu lieu : on peut hésiter entre le réservoir à eau placé à l'avant du réservoir à huile n° 1 et la soute qui se trouve directement au-dessus. La première hypothèse paraît la plus vraisemblable. L'effet de l'explosion a été particulièrement localisé à bâbord du réservoir à eau, et s'est fait surtout sentir vers le haut et l'avant du bâtiment.

Les précautions ordinaires avaient été prises avant la mise en chantier du bateau, pour le nettoyage de tous les réservoirs à huile, c'est-à-dire qu'on les avait lavés à grande eau, puis séchés au moyen de sciure de bois et de chiffons, tout en complètant l'effet du lavage par une énergique ventilation.

Le réservoir à eau, où il semble que l'explosion se soit produite, avait servi au transport de l'huile minérale jusqu'en octobre 1890. Il est tout d'abord certain que les pompes qui pouvaient épuiser complètement le pétrole dans les réservoirs normalement destinés à le contenir ne le pouvaient pas dans le réservoir dont nous nous occupons, leurs tuyaux d'aspiration n'y descendant pas assez bas. En outre, une maladresse, dont l'auteur est resté inconnu, fit couler, en février 1891, une certaine quantité de pétrole dans le réservoir à eau. On essaya bien de le remplir d'eau et de chasser ainsi l'huile minérale, mais il est certain qu'il en resta une notable quantité sous les poutres de support de la paroi inférieure du réservoir. Il eût été fort difficile de le nettoyer et ventiler comme le reste du bâtiment; on se contenta de pratiquer dans la coque un trou pour la vider, deux jours avant l'explosion ! Le bâtiment était éclairé à l'électricité. Mais, pendant les réparations, on dut se servir de forges portatives pour placer de nombreux rivets. Le 11 mai, au matin, on envoya dix ouvriers dans le réservoir à huile n° 1 pour enlever le pétrole qui s'y était introduit, venant du réservoir à lest,

avant qu'on eût procédé à la vidange de ce dernier; pendant qu'un homme taraudait un trou de rivet, en vue d'y placer une vis, une flamme sortit du trou, brûlant la main de l'ouvrier, puis, comme résorbée, détermina une violente explosion. Il y eut cinq morts et dix blessés. Il est bien évident que l'accident est dû à la formation, dans le réservoir, d'un mélange détonant, et les explications données plus haut font concevoir qu'il devait, en effet, s'en former un dans ce local d'où la totalité de pétrole ne pouvait guère être expulsée. Des expériences faites par le docteur Dupré et M. Redwood sur les échantillons du pétrole transporté par le *Tancarville* ont montré que 4,5 l de cette huile constituent avec 8 m³ d'air un mélange légèrement explosif; la même quantité de pétrole rend fortement explosif un volume de 2 m³ d'air.

Or le réservoir a une capacité de 240,4 m³ environ; il pouvait donc constituer un mélange fort dangereux avec 800 l de pétrole. Le réservoir était divisé en deux parties par une cloison, et il semble probable que l'atmosphère à bâbord contenait beaucoup plus de vapeur de pétrole qu'à tribord. On s'explique ainsi qu'il y ait eu simple inflammation à tribord, et ensuite explosion à bâbord. J'ai dit qu'il n'était pas impossible que le feu eût pris dans la soute. Celle-ci était cependant fort bien aérée, mais le jour de l'explosion le temps était chaud et le soleil ardent, et on peut admettre que cette circonstance ait produit une évaporation suffisante du pétrole pour constituer, dans la soute, un mélange explosif! Quel que soit l'endroit où le feu a pris, il n'est pas possible de savoir comment il a pris.

Cet accident nous donnera des indications intéressantes relativement aux conditions à remplir dans la construction des pétroliers.

La destruction du vapeur pétrolier *Lux* dans l'Archipel, le 2 novembre 1891, n'est pas due, originairement du moins, à une explosion, mais à un incendie. L'équipage, après avoir perdu vingt hommes, abandonna le navire en feu, et, d'après les épaves retrouvées, on put conclure qu'il y avait dû y avoir explosion. Ce dont on est certain c'est que le *Lux* transportait de la kérosine; le 2 novembre, à 3 heures 15 du matin, une forte odeur de pétrole se fit sentir dans la soute. A 10 heures, le feu était dans les flancs du bâtiment, et bientôt après des flammes de 3 m de haut sortaient des écoutilles des soutes.

Il est certain que la kérosine avait pu suinter du tuyau

d'expansion des réservoirs dans la soute de bâbord, dans laquelle, ou aux environs de laquelle, le feu s'est déclaré. Malheureusement le navire n'était pas divisé en compartiments étanches et les portes des soutes ne montaient qu'à 10 ou 12 cm en-dessous du pont, et l'huile, par une mauvaise mer, avait toute facilité pour se répandre dans toutes ses parties; c'est là une précieuse indication pour les précautions à observer dans l'avenir.

Le 13 juin 1892, une explosion qui coûta la vie à plusieurs hommes eut lieu à Blaye, à bord du bâtiment pétrolier *Petrolea.* On suppose que l'accident se produisit dans le réservoir à huile n° 1, ses parois ayant été retrouvées fort avariées après l'explosion. Le navire amenait de Philadelphie en France du pétrole brut et le réservoir n° 1 avait été vidé. Il est vraisemblable qu'il s'y était formé, comme nous en avons vu plusieurs exemples, un mélange détonant, dont, faute d'autres explications plausibles, on a dû admettre l'allumage par la foudre. L'explosion fut suivie d'un incendie qui réduisit le pétrolier à l'état d'épave. Les divers réservoirs à pétrole comportaient trois tuyaux à air de 75 mm, mais on avait eu le tort de ne pas les faire déboucher dans l'intérieur du mât comme pour le dispositif de la *Ville-de-Calais*, et de plus, il semble bien que, pendant le déchargement, on ait levé les trappes du pont.

L'explosion du *Norcross* sur la Seine, près d'Honfleur, le 4 novembre 1892, est une nouvelle preuve du danger que peut présenter l'accumulation de vapeur de pétrole dans un espace mal ventilé. Ce voilier en fer remontait la Seine, traîné par un toueur portant à Rouen 2 300 barils de pétrole brut et 2300 barils de naphte; un matelot, en frottant une allumette, mit le feu à un mélange détonant qui s'était formé dans l'avant du bâtiment; il avait donc fallu que la vapeur de pétrole traversât les joints de la cloison qui séparait l'avant du corps du navire où était emmagasinée l'huile minérale.

En décembre 1892, un accident où trois hommes furent brûlés, mais sans que le navire éprouvât de dommage, se produisait sur le vapeur *New-York-City* qui avait transporté du pétrole en barils. Un balayage sérieux avait, pensait-on, fait disparaître toute chance de danger; il suffit de l'approche d'une lumière pour mettre le feu au mélange détonant qu'avait formé la vapeur de pétrole provenant de l'huile qui avait coulé de divers barils du chargement.

On voit qu'on ne saurait trop prendre de précautions partout où a pu se produire une certaine quantité de vapeur de pétrole,

Enfin, le 20 janvier 1895, le feu s'est déclaré dans le port de Dieppe, à bord du *Anny Seaffort*, trois-mâts pétrolier en bois jaugeant 1 500 tonneaux, du port de Saint-Jean (New-Brunswick).

La cause de ce sinistre a été expliquée de la façon suivante : l'*Anny Seaffort* prenait du silex comme lest et on suppose que ces pierres, en s'entre-choquant, ont dû produire des étincelles qui ont communiqué le feu aux parois du navire : ces parois étant imbibées d'essence de pétrole, les flammes se sont bientôt propagées au bateau tout entier.

Au mois de mai 1907, le steamer *Westgate*, qui arrivait à Plymouth le 3, débarquait quarante-huit hommes de l'équipage du navire pétrolier *Silverlip* rencontré en flammes, quelques jours auparavant, dans le Golfe de Gascogne.

Se trouvant par 45°55′ de latitude nord et 7°11′ de longitude ouest, le *Silverlip* eut une explosion terrible à bord. Cinq hommes de l'équipage furent tués et quatre gravement blessés.

La cargaison s'enflamma et brûlait avec violence, lorsque le steamer *Westgate* s'approcha et parvint à prendre à son bord l'équipage du pétrolier.

Le *Silverlip* détruit appartenait à la Shell Transport Trading C°: c'était un navire relativement neuf, puisqu'il datait de 1903.

Il jaugeait 7 492 t. Au moment du sinistre, il se rendait de Singapour en Angleterre avec une cargaison de benzine.

Des exemples précédents, et suffisants à mon sens, on peut tirer des conclusions de deux ordres différents; les unes relatives aux règles à suivre dans la construction des navires pétroliers, les autres ayant rapport aux conditions de leur exploitation.

Modernes constructions navales et installations de sécurité des navires tanks chargeant des huiles minérales en vrac.

Après les écoles faites et les expériences acquises, les chantiers adoptèrent des dispositions générales spéciales pour la construction de ces genres particuliers de navires, et le Bureau « Véritas », notamment, en condensa les particularités d'établissement dans une note à part annexée à ses règlements.

On peut dire que, dans la construction de navires à citernes, le type des navires à trois ponts doit être préféré.

Le meilleur système de construction consiste à mettre le chargement liquide en contact avec la muraille extérieure, afin d'éviter tout danger d'accumulation des gaz. Mais si, pour des raisons spéciales, on est conduit à employer une double coque, soit partielle, soit complète, il sera nécessaire de ménager un accès facile et une ventilation parfaite de tous les espaces clos.

Les cales occupées par le chargement ainsi que les cales à eau et les cofferdams seront partagés longitudinalement par une cloison au moins, montant jusqu'au point le plus haut des caisses d'expansion, et étanche à l'huile.

Ce même espace sera, en outre, divisé en compartiments transversaux par des cloisons parfaitement étanches à l'huile, et en nombre suffisant pour assurer largement la stabilité du navire pendant le remplissage et l'épuisement des citernes. Dans les vapeurs, il est recommandé de ne pas dépasser une longueur maxima de 8,50 m pour chaque compartiment.

Chaque citerne sera munie à son sommet d'une caisse d'expansion ayant une capacité d'au moins 6 0/0 du volume de la citerne correspondante.

Des cloisons doubles, *formant cofferdams*, seront établies à chaque extrémité de l'espace occupé par le chargement liquide; elles régneront de la quille au point le plus haut des caisses d'expansion, sur toute la largeur du navire; elles seront distantes d'au moins deux intervalles de membrures, et l'espace compris entre elles sera parfaitement ventilé.

Chaque citerne sera essayée avant le lancement, ou en cale sèche, sous une charge d'eau de 3,30 m au-dessus du plafond, ou de 1,20 m au-dessus des couvercles des caisses d'expansion.

Un système complet de tuyautage desservi par de puissantes pompes à vapeur d'un modèle convenable sera établi pour faciliter le chargement et le déchargement de la cargaison et du waterballast.

Lorsqu'on établira une cale à eau sur l'avant des citernes à huile, une pompe à eau séparée sera installée sur l'avant du cofferdam pour le service de cette cale.

Les cofferdams, chambres des pompes et autres espaces clos seront munis de manches à air ou autres systèmes de ventilation convenables.

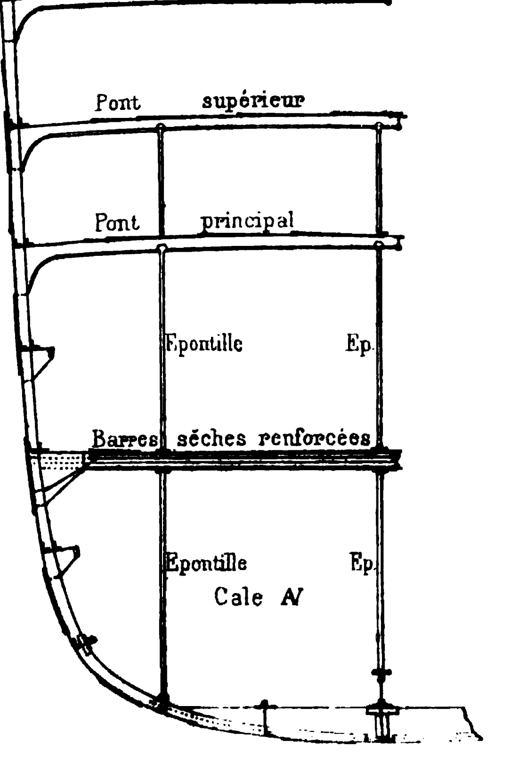
On devra, en outre, établir des installations spéciales pour

Spécimens d'un gabarit moderne de Tanksteamer ayant pour caractéristiques :

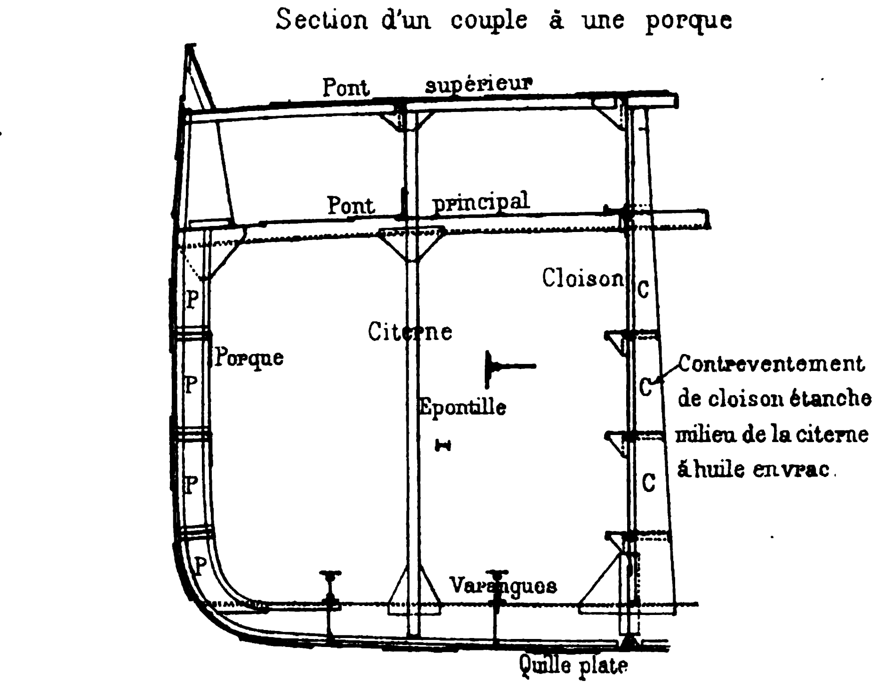
Longueur : 145 m ; Largeur : 18 m ; Creux : 10m50 ; Tonnage : 5 600 tx.

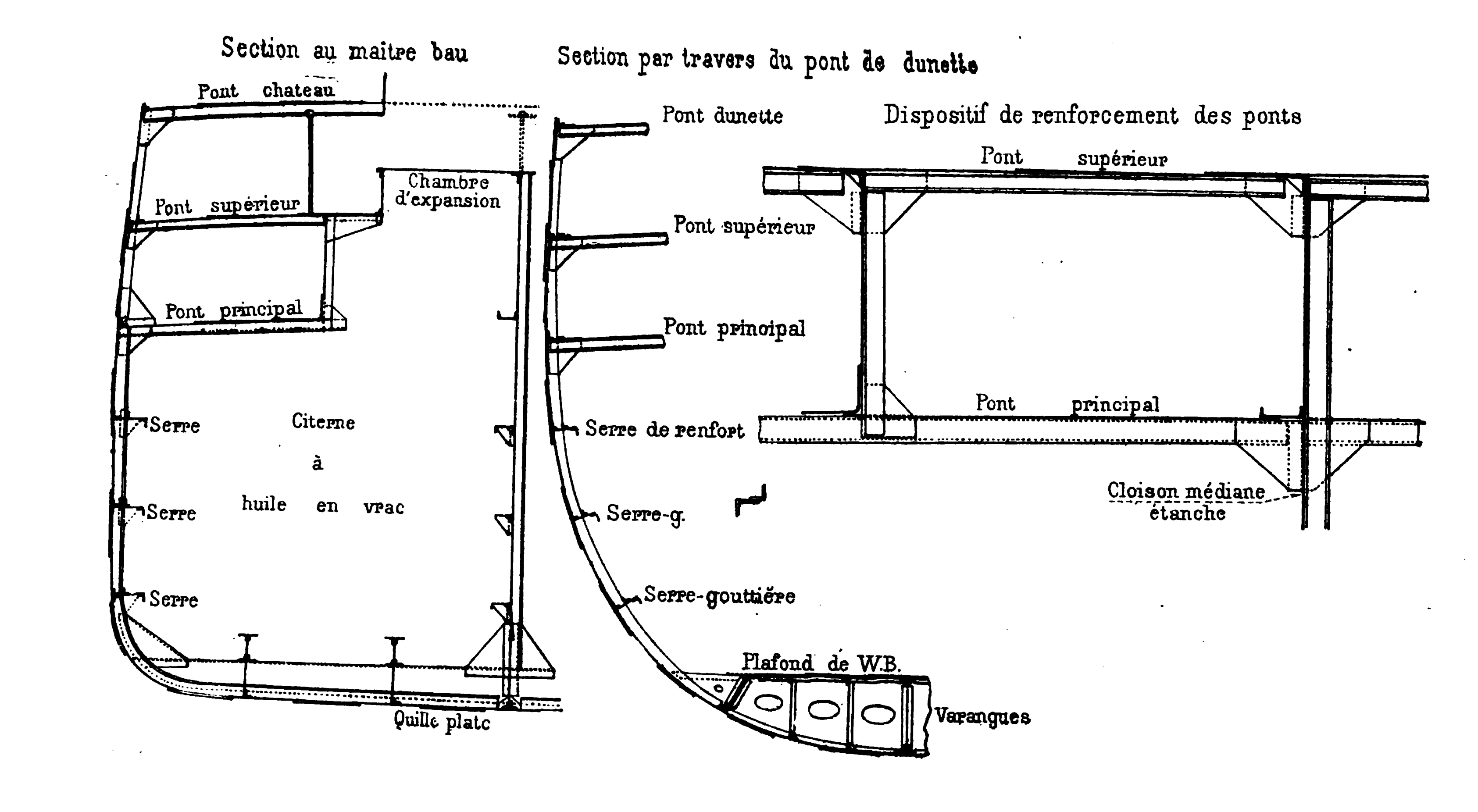
. Type M. D. 1. S. S. T.

Section par travers de cale AV



Section d'un couple à une porque




Section au maitre bau
Pont chateau
Pont supérieur
Chambre d'expansion
Pont principal
Serre
Citerne
à
huile en vrac
Serre
Serre
Quille platc
Section par travers du pont de dunette
Pont dunette
Pont supérieur
Pont principal
Serre de renfort
Serre-g.
Serre-gouttière
Plafond de W.B.
Varangues
Dispositif de renforcement des ponts
Pont supérieur
Pont principal
Cloison médiane étanche

débarrasser les citernes des gaz ou vapeurs inflammables, au moyen de jets de vapeur ou autre système efficace de ventilation artificielle.

Lorsqu'on voudra transporter des marchandises ordinaires dans les citernes à huile, les fonds seront protégés par des vaigres démontables ayant les échantillons usuellement employés. Chaque compartiment sera également pourvu d'un système de ventilation convenable et de moyens de sondage. Les tuyaux à huile et autres, les robinets et leurs tiges seront solidement protégés contre tout choc.

Dans les vapeurs, il est recommandé de placer l'appareil moteur entièrement à l'arrière, séparé des citernes par le cofferdam susmentionné.

Toutefois, si l'on désire placer les machines dans la partie centrale, on devra veiller tout spécialement à ce que le tunnel de l'arbre soit entièrement isolé de la chambre des machines; il aura une entrée séparée débouchant sur le pont, avec au moins deux manches à air pour l'aération.

La cuisine, de même que les chaudières principales et auxiliaires, doit être soigneusement isolée de tout contact avec le chargement liquide. Il est recommandé de placer la chaudière auxiliaire plus haut que le pont principal et on n'admettra pas de portes extérieures dans les parois du local où elle est placée, à moins qu'elle ne soit sur le pont supérieur, à l'arrière des citernes.

Les navires à citernes doivent être entièrement éclairés à l'électricité et l'installation comportera un circuit de retour isolé de la coque.

La solidité et la sécurité des navires à citernes dépendent avant tout de la perfection de la main-d'œuvre, de l'efficacité du rivetage et du soin avec lequel il est exécuté, enfin de l'efficacité des liaisons établies entre les diverses parties. Pour diminuer le nombre des joints rivés, il est avantageux d'employer des barres profilées Z, U, ou autres, et des tôles à bord tombés partout où c'est possible.

Dans les cloisons étanches à l'huile, les renforts horizontaux et verticaux doivent être placés respectivement de part et d'autres des cloisons. Les renforts horizontaux seront reliés aux cloisons par des cornières simples de dimensions réglementées et porteront sur leur bord libre une cornière semblable, reliée par des bandes d'about à celle qui borde les ceintures de cale.

On aura soin que les deux ailes de ces cornières reçoivent le même nombre de rivets.

On peut, si l'on préfère, employer pour les renforts des barres en U de section équivalente.

Les cloisons étanches à l'huile doivent être construites sans interposition de feutre, de céruse, ou de toute autre garniture dans les joints; les tôles doivent s'appliquer exactement métal sur métal et être matées sur tous les joints et sur les deux faces. Les renforts et leurs cornières de jonction sur les cloisons seront également matés. On n'emploiera pas de rivets d'un diamètre inférieur à 19 mm dans les parties des citernes soumises à la pression du chargement.

Règles de sécurité à préconiser à bord.

Les statistiques autrefois établies, d'après de nombreux constats de graves sinistres arrivés à bord des tanksteamers, ont montré que ces catastrophes sont presque toujours survenues aux navires pétroliers lors des opérations et manutentions, au chargement et au déchargement. Présentement, les sinistres décroissent en fréquence et on diminuerait aisément encore les chiffres accusés par les statistiques si tous les armateurs adoptaient absolument et faisaient scrupuleusement observer la réglementation de sécurité que je résume dans ce qui suit.

A bord de tout navire séjournant dans un port, soit pour y charger, soit pour y décharger :

1° Il est absolument interdit de fumer, d'être porteur d'allumettes d'aucune sorte, de se servir de lampes à feu nu ou découvert dans quelque partie que ce soit du navire;

2° Tous les feux autres que ceux de la chaudière principale, qui devra être isolée, seront éteints;

3° Au port et en mer, sauf en ce qui concerne les fanaux réglementaires des feux de position de route, le navire ne pourra être éclairé que par les lampes électriques, dont la pose des fils sera faite avec la plus grande minutie. Chaque lampe ou ampoule devant servir à bord sera construite et protégée de façon à éloigner tout danger de bris et d'explosion;

4° Pendant le chargement, les réservoirs, tanks ou citernes seront tenus aussi clos que possible;

5° Pendant le remplissage du pétrole brut, les couvercles des tanks seront vissés à fond ; après déchargement, ces tanks ne seront remplis d'eau que lors de la complète évacuation des vapeurs de pétrole par les tuyaux d'évacuation d'évaporation ;

6° En cas de nécessité ou d'obligation de visite ou de réparation dans les tanks vides ou mi-pleins, ne laisser descendre un homme qu'après l'avoir revêtu d'un appareil respiratoire ;

7° Pour la pose à chaud des rivets, en cas de réparation, ce travail ne sera effectué qu'après entier nettoyage et totale évaporation ou asséchement des imbibitions de pétrole le long des parois, cloisons, fond, etc., des tanks ou compartiments, et aussi dans toutes les parties du navire où l'huile est susceptible de s'infiltrer ou de se loger ;

8° Pendant les travaux de nettoyage et d'évaporation, on vérifiera souvent l'état de l'atmosphère et on craindra les manifestations orageuses ou électriques atmosphériques ;

9° L'examen des tanks, réservoirs ou citernes vides se fera au moyen de lampes spéciales électriques, bien protégées, du type Boverton Redwood, ou tout autre spécimen de sûreté usité pour les mines grisouteuses.

Les présentes prescriptions devraient toujours être affichées dans les différentes parties du bord et toutes mesures prises pour en assurer strictement l'exécution.

Liste des tanksteamers et voiliers pétroliers.

On trouvera page 519 la nomenclature résumée de tous ces navires spéciaux avec leurs nationalités et tonnages.

Présentement, sur environ 270 navires tanksteamers et voiliers tanks (1) qui sillonnent les mers du globe, sans compter les importantes flottilles de chalands-citernes pétroliers qui circulent constamment sur les voies de navigation intérieure des divers pays, on ne déplore guère que deux ou trois sinistres très graves ou complets par an.

Cela tient incontestablement aux perfectionnements apportés à la construction et à l'entretien de tous ces bâtiments, vrais

(1) La liste détaillée de ces navires spéciaux, actuellement à flot (1907) sera déposée à la Bibliothèque pour renseignements complémentaires si on les désire.

EXERCICE 1906-1907

	Allemagne :	
26	Tanksteamers, ensemble.	90.000 tx
	Amérique :	
28	Tanksteamers, ensemble.	95.000
	Angleterre :	
98	Tanksteamers, ensemble.	357.000
	Autriche-Hongrie :	
1	Tanksteamer.	2.370
	Belgique :	
5	Tanksteamers, ensemble.	13.000
	Danemark :	
1	Tanksteamer.	480
	Egypte :	
1	Tanksteamer.	449
	Espagne :	
3	Tanksteamers	2.942
	Grèce :	
1	Tanksteamer.	1.666
	Italie :	
1	Tanksteamer.	1.249
	Japon :	
1	Tanksteamer.	2.079
	Pays-Bas :	
27	Tanksteamers, ensemble.	61.000
	Russie :	
41	Tanksteamers, ensemble.	52.000
	Suède :	
2	Tanksteamers	2.600
236		681.835

40 voiliers Tanks, ensemble : 70.000 tonneaux. (Anglais, Français, Suèdois, Hollandais, Espagnols.)

dépôts mobiles, et aux exigences d'ordre et de discipline que les Armateurs prescrivent et que les capitaines font strictement observer à bord.

On peut être sûr que, lorsqu'il survient une catastrophe, il y a neuf chances sur dix pour que ce soit par relâchement aux méthodes préservatrices ordonnées.

On me dit officieusement que la Compagnie de Suez, rassurée, aurait, dans l'avenir, une tendance à considérer peu à peu les navires pétroliers transitant avec une cargaison d'huile de pétrole comme un risque ordinaire et à réserver aux cargaisons d'essence les seules sévérités de ses règlements.

LES WAGONS DYNAMOMÉTRIQUES

PAR

M. A. RODRIGUE

L'idée du wagon dynamométrique remonte à l'origine des chemins de fer. On conçoit, en effet, que les Ingénieurs qui avaient à assurer le service de la traction aient cherché, de tout temps, à se rendre compte du travail que produisait cet instrument si intéressant dès son début : j'ai nommé la locomotive.

C'est en 1859 que le Chemin de fer du Nord construisit son premier wagon dynamométrique, et déjà nous trouvons dans cet appareil la recherche des divers éléments essentiels à la détermination du travail de la locomotive à la barre d'attelage, c'est-à-dire les vitesses et les efforts de traction. Ces derniers seuls étaient inscrits immédiatement. Pour ce qui est de la vitesse, on se contentait d'en noter les éléments et l'on devait tracer la courbe une fois rentré au bureau.

Depuis cette époque, on a beaucoup amélioré les appareils, on a multiplié les renseignements recueillis en cours de route et l'on est arrivé à des dispositifs parfois un peu compliqués, mais comportant souvent des solutions très élégantes des divers problèmes qui se sont posés successivement.

Avant d'entrer dans la description d'un wagon dynamométrique, je voudrais essayer d'indiquer les diverses conditions qu'il doit remplir.

Le wagon dynamométrique doit généralement être placé en tête des trains : presque toujours immédiatement après le tender. Il doit servir aussi bien pour les trains de voyageurs que pour ceux de marchandises.

Pour pouvoir entrer dans la composition des trains rapides, il doit jouir par lui-même d'une grande stabilité : il faut donc qu'il présente un empattement et un poids suffisants.

Cependant il ne faut pas que son poids soit une cause d'ex-

clusion de certains trains rapides déjà lourdement chargés ; il faut donc se tenir dans une limite raisonnable.

Il pourra arriver qu'il soit utilisé sur des lignes ou sur des sections ne comportant pas de plaques tournantes de grand diamètre, et à cause de cela, il devra pouvoir fonctionner dans les deux sens de la marche, son poids faisant ou ne faisant pas partie de la charge remorquée sur laquelle on opère.

Je ne parle que pour mémoire des appareils de freinage et de chauffage qui, s'ils n'agissent pas sur le véhicule d'expérience, doivent permettre à la machine de faire sentir son action sur le train tout comme si le dynamomètre ne s'y trouvait pas.

La nécessité de pouvoir l'utiliser dans les trains de marchandises conduit à la construction d'un véhicule extrêmement robuste. Il ne faut pas oublier, en effet, que les trains de marchandises ne sont pas munis de freins continus et ne le seront vraisemblablement pas avant un certain temps. Aussi, au moment des arrêts, tout le poids du train vient-il s'appuyer sur la machine, si l'on fait abstraction de l'effort retardateur dû aux freins à main dont l'action est toujours plus lente et plus incertaine que celle de la machine. Si l'on songe que nous avons remorqué il y a quelques mois, avec une des puissantes machines à deux bogies moteurs de M. du Bousquet, un train de 1 450 t et si l'on veut tenir compte de ce qu'on peut prévoir dans un avenir encore encore assez rapproché, on peut se faire une idée des efforts que doit subir le châssis du wagon placé entre la machine et la masse remorquée.

Pour entrer maintenant dans le vif de la question, je voudrais vous donner quelques détails sur le wagon dynamométrique de l'origine. Ce sera plus simple pour les explications et nous verrons plus aisément comment on a été amené aux solutions de l'heure actuelle et même quels sont les problèmes que l'on pourrait encore se poser en ce moment.

J'ai dit tout à l'heure que les principaux éléments du travail de la locomotive au crochet d'attelage sont l'effort de traction et la vitesse.

Pour mesurer les efforts de traction, l'idée la plus simple conduit naturellement à mesurer les déformations que subit l'appareil élastique d'attelage sous l'effort de la machine. On emploie donc un ressort, à lames séparées pour éviter les frottements : ces lames sont accouplées par leurs extrémités et forment deux groupes dont l'un est invariablement fixé au véhicule et dont

l'autre fait partie de l'appareil d'attelage. Ce dernier groupe est relié par divers organes à un crayon enregistreur et l'on conçoit que si l'on a taré préalablement le ressort, la mesure de ses déformations donnera celle des efforts que la machine exerce sur le train.

Mais on ne peut évidemment se contenter de mesurer ces efforts à chaque instant. Il est indispensable d'en conserver la trace, de manière à pouvoir étudier dans le silence du cabinet les différentes phases de la marche du train.

Pour cela, une bande de papier se déroule sur une table dans le wagon dynamométrique et perpendiculairement au mouvement du crochet de traction, c'est-à-dire perpendiculairement au grand axe du véhicule.

Cette bande est entraînée par une sorte de laminoir formé de deux cylindres superposés qui sont actionnés par un essieu non freiné du véhicule. Le papier se meut donc proportionnellement aux espaces parcourus et l'on a ainsi un des éléments qui permettront de déterminer la vitesse du train. Il suffit, en effet, sur cette bande qui se déroule plus ou moins vite, d'inscrire des intervalles de temps égaux pour qu'on puisse tracer sur ce papier la vitesse moyenne pendant ces intervalles.

Maintenant que nous avons tous les éléments nécessaires à la détermination du travail de la machine, voyons comment on les utilisera.

Au retour au bureau, il faut, comme je l'ai dit plus haut, tracer sur le papier dynamométrique la courbe des vitesses. A cet effet, on doit au moyen d'une sorte d'équerre graduée d'avance prendre la longueur du papier qui s'est déroulée pendant chaque intervalle de 10 secondes, par exemple, et marquer au milieu de cet intervalle la vitesse moyenne trouvée. Il ne restera plus qu'à réunir par un trait continu les points ainsi marqués pour avoir une courbe assez exacte de la vitesse du train en tous les points de son parcours.

Connaissant la vitesse en kilomètres à l'heure, on trouve aisément la vitesse en mètres par seconde et, la multipliant par l'effort de traction exprimé en kilogrammes, on trouve des kilogrammètres-seconde qui, divisé par 75, donnent en chevaux-vapeur le travail de la machine au crochet de traction (1).

(1) Un simple calcul montre que pour éviter ces opérations successives, il suffit de multiplier la vitesse en kilomètres à l'heure par l'effort de traction en kilogrammes et de diviser par 270 pour avoir la puissance en chevaux.

Par ce qui précède, on peut juger du travail considérable qu'impose la nécessité de tracer à la main la courbe des vitesses, et l'on conçoit que les inventeurs aient cherché à la faire tracer sur le papier en même temps que les efforts de traction.

Nous aurons donc à étudier quelques-unes des solutions qui ont été appliquées avec plus ou moins de succès.

En attendant, nous sommes assez avancés pour qu'il soit utile de donner la description d'un wagon dynamométrique, et je vais dire quelques mots de celui du Chemin de fer du Nord. Non pas que je veuille le donner comme un modèle à suivre, car il commence à prendre de l'âge, mais parce que c'est probablement le plus ancien et presque sûrement le plus simple de ceux que j'ai pu étudier.

Nord.

Le premier wagon dynamométrique du Nord datait de 1859. L'appareil enregistreur était au niveau du plancher du wagon et je me souviens que M. de Laboriette, un de nos anciens Collègues, qui eut à l'utiliser, en parlait comme d'un appareil peu commode pour l'opérateur. Les observations étaient plutôt difficiles et susceptibles d'erreurs, car les pointages étaient faits à la main et devaient par suite être restreints en quantité. C'est vers 1880 que les appareils furent transportés dans une voiture à couloir du matériel racheté quelques années auparavant à la Compagnie de Lille-Valenciennes.

On en profita pour leur donner une disposition plus commode, qui a été à peu près conservée jusqu'à présent, en utilisant l'électricité pour l'enregistrement d'un certain nombre d'observations.

La disposition générale est représentée par la figure 1.

La caisse est divisée en deux compartiments. Le plus grand, celui d'avant dans le sens normal de la marche, comprend les appareils enregistreurs placés sur une table à peu près au milieu de la voiture. Un appareil de chauffage, genre Choubersky, est solidement fixé au plancher, précaution qui n'est pas inutile pour éviter le renversement, aussi bien au cours des manœuvres de mise en tête dans les gares que pendant la rotation sur les plaques tournantes.

La paroi d'avant de ce compartiment comporte des glaces

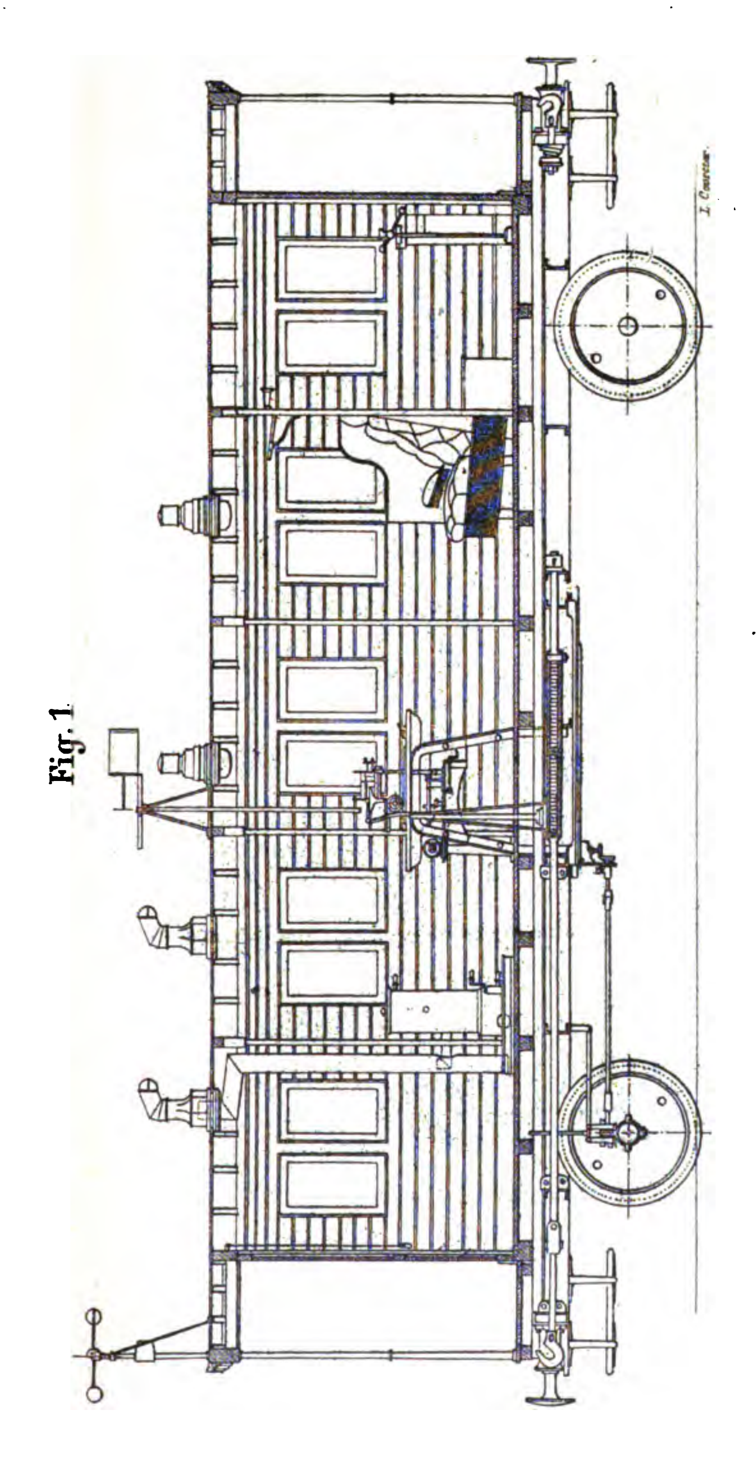


Fig. 1

rendues mobiles pour leur nettoyage et permettant d'explorer la voie des deux côtés. Les parois latérales sont munies de châssis mobiles, comme dans les voitures ordinaires, pour la ventilation pendant l'été.

A l'arrière, ce compartiment est garni de banquettes avec filets pour les bagages ou petits colis.

Le deuxième compartiment est divisé en deux parties : l'une, servant d'atelier, est munie de quelques outils et d'un étau, la deuxième est aménagée en cabinet de toilette.

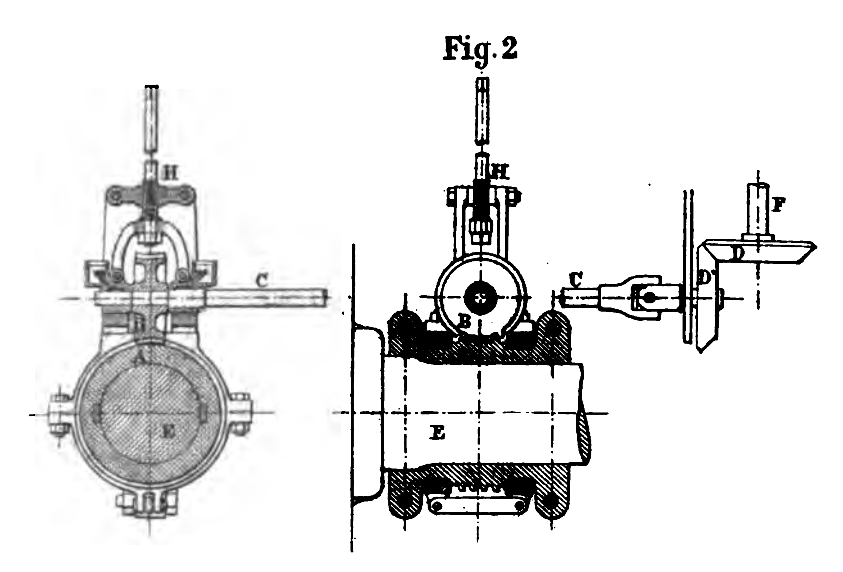
L'accès du véhicule a lieu par les deux plates-formes extrêmes.

Le wagon est monté sur deux essieux, dont un, servant à donner le mouvement aux appareils, doit être maintenu complètement libre, c'est-à-dire être laissé en dehors de l'action des freins.

Autrefois, la prise de mouvement sur l'essieu libre se faisait au moyen d'une courroie inclinée sur l'horizontale et qui passait sur deux poulies de même diamètre montées l'une sur l'essieu, l'autre sur un arbre à vis sans fin, réducteur de vitesse et placé à l'intérieur du véhicule.

Cette disposition, très simple et permettant de ne pas se préoc-

Fig. 2



cuper de la flexion des ressorts de suspension, donnait lieu à de fréquents ennuis.

Tantôt la courroie se rompait, tantôt elle sautait hors des poulies au beau milieu d'une expérience, qui se trouvait ainsi interrompue jusqu'au premier arrêt où l'on puisse remettre les

choses en état. Cette disposition a été remplacée par la suivante (*fig. 2*) :

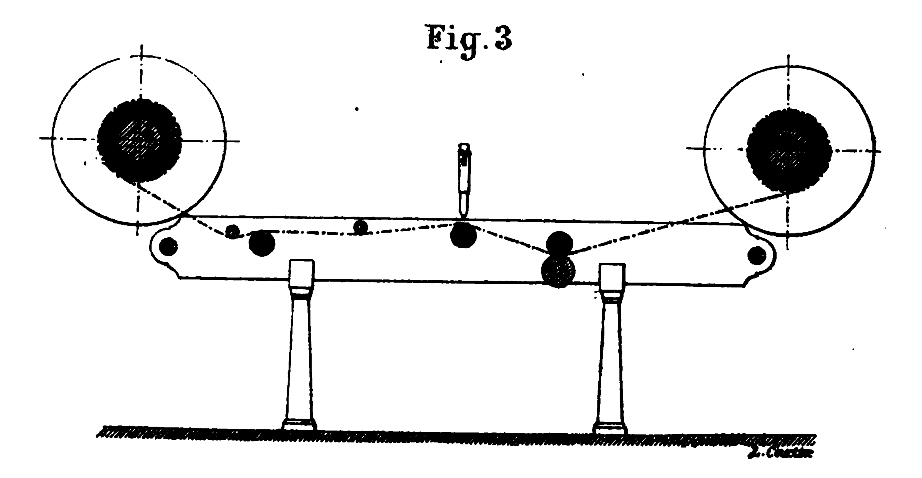
Sur l'essieu libre E est calée une vis sans fin A qui engrène avec une roue dentée B, montée sur un arbre horizontal C muni d'un joint à la cardan, pour permettre les déplacements relatifs de l'essieu et du véhicule. Cet arbre horizontal transmet, par l'intermédiaire de deux pignons dentés DD′, le mouvement à un arbre vertical F qui, au moyen d'un train d'engrenages, actionne une sorte de laminoir à deux cylindres entre lesquels passe la bande de papier qui doit recevoir toutes les indications à recueillir.

L'organe de prise de mouvement peut être débrayé ou embrayé à volonté, de l'intérieur du wagon, par une vis H qui lève ou abaisse la roue, dont les paliers peuvent coulisser dans des colliers embrassant la vis sans fin de l'essieu.

Sous la table des appareils, un autre levier permet d'embrayer ou de débrayer le mouvement du laminoir entraîneur et même d'en rectifier le sens lorsque le véhicule est utilisé l'arrière en avant.

Entraînement du papier. — Comme le montre la figure 3, le papier monté sur une bobine J passe d'abord au-dessous et au-

Fig. 3



dessus de cylindres fous pour être tendu et, arrivant entre deux cylindres entraîneurs K et L, va enfin s'enrouler en M sur une autre bobine dont le mouvement est produit par une petite courroie un peu lâche, de manière à permettre les glissements

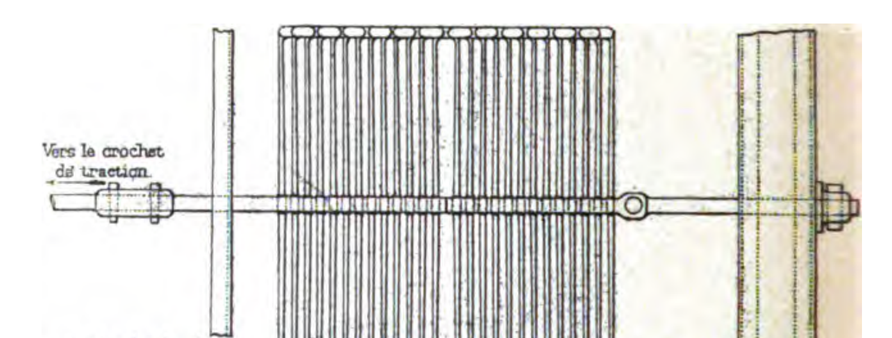
nécessaires au fur et à mesure de l'augmentation de son diamètre. Au contraire, la bobine J est munie d'un frein réglable pour s'opposer à un déroulement trop rapide.

Avant d'arriver aux cylindres entraineurs, le papier passe sur un cylindre A au-dessus duquel se trouvent les styles enregistreurs dont je parlerai plus loin.

Pour les relevés en marche normale, le développement du papier est de 150 mm par kilomètre parcouru. Dans des cas exceptionnels, comme pour l'étude des démarrages ou de l'action des freins, la vitesse de déroulement du papier est portée à 500 mm par kilomètre.

Le châssis ne présente rien de particulier. Mais le crochet de traction de l'une des extrémités est monté sur le ressort dyna-

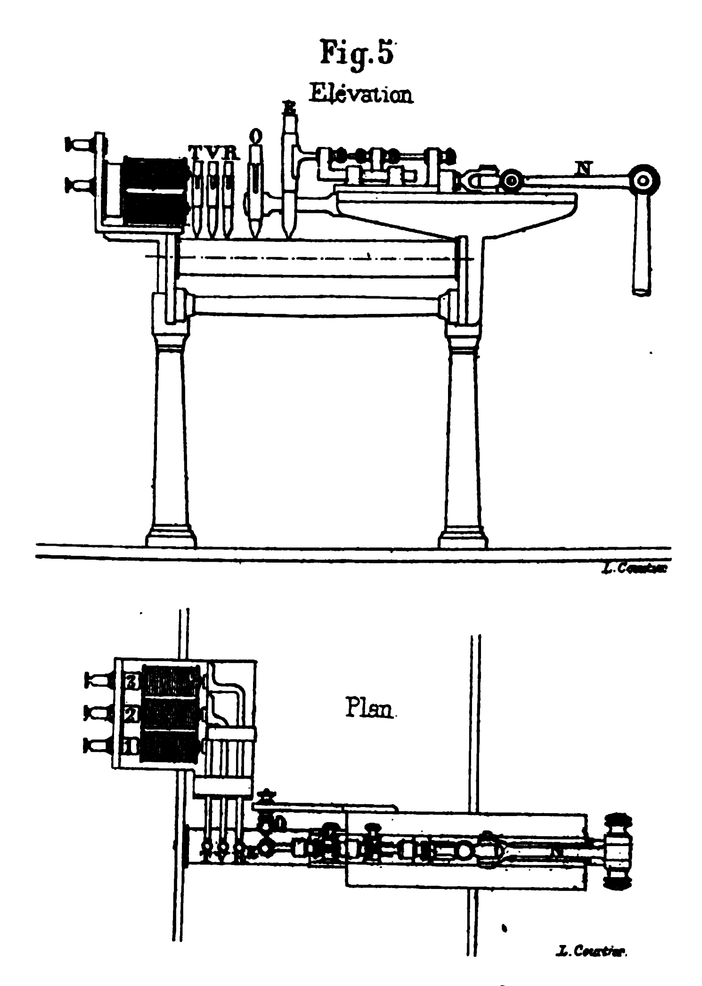
Fig. 4
Plan



mométrique qui, ainsi que le montre la figure 4 en plan, est composé de vingt-six lames droites dont treize fixes sont attachées par leur chape d'assemblage au châssis du véhicule et dont les treize autres sont mobiles et reliées par leur chape centrale au crochet de traction. Ces vingt-six lames sont accouplées entre elles à leurs extrémités, en dessus et en dessous par des biellettes formant de véritables chaines de Galle. Afin de diminuer les frottements, la tige du crochet de traction et la partie mobile du ressort sont supportées par des galets. Lorsque les vingt-six lames sont accouplées, le ressort peut supporter des efforts de

10 000 kg et la flexibilité totale est d'environ 10 mm par 1 000 kg.

Pour les trains de voyageurs, on n'arrive pas encore à de tels efforts sauf au démarrage et l'on peut découpler un certain nombre de lames de manière à augmenter la flexibilité par tonne et diminuer les chances d'erreur à la lecture. Ordinairement, on



n'accouple que dix lames et la flexibilité est alors de 25 mm par tonne.

Pour l'inscription des efforts de traction, la chape mobile du ressort est munie d'une tige rigide s'élevant à l'intérieur du véhicule et venant actionner, au moyen d'une bielle horizontale N *(fig. 5)*, dont la longueur peut être réglée aisément, un petit chariot portant une gaine dans laquelle on place le crayon

ou le style E. A la Compagnie du Nord, nous sommes restés longtemps fidèles pour ce dernier petit détail, à l'emploi de tubes en verre effilés dans lesquels on mettait quelques gouttes d'eau colorée à la fuschine ou à l'aniline. Cela présente l'avantage d'avoir des tracés très nets qui peuvent subir sans altération un grand nombre de manipulations ; mais les tubes sont facilement bouchés par les poussières du papier et nécessitent une grande attention de la part des opérateurs. Dans presque tous les appareils plus récents, on y a renoncé et l'on emploie de préférence des crayons de dureté convenable, taillés à la machine, de manière que la pointe soit bien dans l'axe ; on les surmonte de petites masses métalliques plus ou moins lourdes suivant la nature des appareils moteurs.

En regard du crayon des efforts de traction, se trouve un crayon fixe O qui trace en ordonnée la ligne origine de ces efforts.

Dans l'axe du wagon, et par conséquent sur le même axe que le crayon des efforts de traction, s'en trouvent trois autres commandés par des électro-aimants et qui servent à marquer :

1° Les intervalles de temps égaux :

2° Les différents points de repère de la voie ;

3° Les tours de roue de l'essieu qui commande tout le mécanisme.

1° Pour l'enregistrement des intervalles de temps, une pendule envoyait toutes les dix secondes un courant de très courte durée dans l'électro-aimant numéro 1 dont le crayon T traçait une petite encoche.

Afin de pouvoir suivre de plus près les variations de la vitesse et de permettre de compter plus aisément les temps écoulés, cette pendule a été remplacée par une autre donnant normalement un contact toutes les six secondes et un contact plus prolongé toutes les minutes. Pour les expériences de démarrages ou d'essais de freins, le contact est donné toutes les deux secondes ;

2° Les différents points de repère de la voie sont marqués par un expérimentateur tenant à la main une poire électrique et marquant, au moyen du crayon V mû par le deuxième électro-aimant, des encoches petites ou longues suivant la durée de la pression sur le bouton électrique et correspondant aux poteaux hectométriques ou kilométriques, aux changements de profil et même aux entrées en courbes, etc. ;

3° Pour l'enregistrement des tours de roues, un arbre intérieur entraîné directement par l'essieu moteur avec la même vitesse

que lui-même, portait un interrupteur qui faisait passer dans le troisième électro-aimant un courant par tour de roue ou, par l'intermédiaire d'un renvoi, un courant par deux tours de la roue motrice.

Cette disposition permettait de s'assurer que le papier se déroulait bien proportionnellement aux espaces parcourus. C'était indispensable lorsque le mouvement était transmis de l'essieu au moyen d'une courroie, car il arrivait parfois que cette courroie s'allongeait et donnait lieu à des glissements dont on pouvait ne pas s'apercevoir et qui eussent été de nature à fausser les résultats. On a pu y renoncer lorsqu'on a remplacé la courroie par une transmission à vis sans fin.

Je mets sous vos yeux quelques spécimens des relevés obtenus avec ces appareils. Vous remarquerez que la courbe des vitesses y est tracée après coup. Pour un voyage de Paris à Calais, 300 km. parcourus en 3 heures et demie par exemple, cela représente une longueur de papier de 45 m ; avec un contact électrique toutes les six secondes, on a 18 300 points à tracer pour la courbe des vitesses.

On comprend qu'on ait voulu s'éviter un travail aussi considérable en cherchant à faire tracer cette courbe par l'appareil lui-même. Nous y reviendrons.

Pour compléter les indications données par ce wagon dynamométrique, j'avais songé à enregistrer la vitesse du vent relatif et sa direction relative.

Pour la vitesse, j'avais fait installer sur le toit du wagon, un anémomètre à quatre cuillères se mouvant autour d'un axe vertical : il est représenté sur la figure d'ensemble. Chaque fois que les cuillères avaient parcouru 1 km, un contact électrique se produisait à l'intérieur et actionnait l'électro-aimant qui avait servi autrefois à inscrire les tours de roues. On pouvait donc, en comptant les temps indiqués pour 1 km de vent par l'électro-aimant des secondes et en défalquant la vitesse du train au même moment, trouver la vitesse du vent.

En même temps, une girouette placée également sur le toit, vers le milieu du wagon, et montée sur un arbre vertical descendant près de la table des appareils, permettait de repérer la direction relative du vent.

Enfin, j'avais essayé de noter les efforts du vent sur des surfaces normales à sa direction relative en munissant la girouette de disques comprimant des ressorts préalablement tarés. Ces disques

étaient reliés par un fil, passant au centre du tube servant d'axe à la girouette, à un crayon spécial monté sur un petit chariot à galets au-dessus du papier. Je dois reconnaître que les premiers résultats obtenus ont été peu encourageants. J'ai dû à ce moment occuper un poste éloigné de Paris et les expériences que j'avais en vue n'ont pas été continuées.

Avec le dispositif que nous venons d'examiner, on peut, en mesurant à l'aide d'une échelle graduée d'avance la distance qui sépare deux encoches des temps, trouver la vitesse du train au moment considéré; mais c'est une opération un peu délicate, à cause du mouvement ininterrompu du papier et des oscillations du véhicule, surtout aux grandes allures. Aussi pour connaître à tout instant la vitesse de marche, a-t-on installé sur la table d'expérience un indicateur de vitesse système Boyer.

Je me bornerai à indiquer ici le principe de cet appareil américain.

Une pompe de circulation mue par l'essieu, ou par une pièce qui participe de son mouvement, envoie de l'huile sous un piston logé dans un cylindre ; celui-ci porte, suivant une génératrice, une fente par laquelle l'huile s'échappe pour retourner au réservoir de la pompe. Le piston est soumis d'autre part à l'action de ressorts antagonistes qui tendent à le ramener au bas de sa course. Plus la pompe tourne vite, plus elle envoie d'huile dans un même temps sous le piston mobile et plus celui-ci se soulève pour découvrir une plus grande longueur de la fente d'échappement.

La tige du piston porte un crayon qui trace une ligne sur un papier mû par une vis sans fin prenant son mouvement sur l'arbre qui commande la pompe, de sorte que le papier se déroule proportionnellement aux chemins parcourus par le wagon. Avec cette disposition, l'échelle des vitesses reste constante. D'autre part, un fil, passant sur des poulies de renvoi, joint le piston mobile à l'aiguille d'un cadran sur lequel on peut lire la vitesse.

Cet appareil n'est en somme qu'un accessoire dont je ne parle que pour mémoire, car il n'inscrit aucune indication sur le papier du dynamomètre.

Maintenant que vous connaissez un wagon dynamométrique, la description de ceux qui ont été construits par d'autres Compagnies vous paraîtrait fastidieuse. Je me bornerai donc à vous indiquer les points de ces divers wagons qui les différencient de celui que je viens de décrire.

Est.

Dans une lettre que M. Perdonnet adressait le 21 octobre 1864, à M. Petiet, Président de la Société des Ingénieurs Civils, il manifestait le désir qu'il soit procédé à des expériences en vue de déterminer la résistance à la traction des véhicules et des locomotives. Pour répondre au programme indiqué, MM. L. Vuillemin, A. Guébard et C. Dieudonné, de la Compagnie de l'Est, procédèrent, de 1864 à 1868, à une série d'essais au cours desquels ils se sont servis d'un dynamomètre. Ceux d'entre vous que la question historique pourrait intéresser trouveront une description sommaire de ce dynamomètre, dans le remarquable travail que ces Messieurs ont publié dans nos mémoires, année 1867.

En me gardant bien d'énoncer ici quoique ce soit qui puisse être considéré comme une question de priorité, je crois qu'on peut dire que ce wagon dynamométrique devait présenter une grande analogie avec le premier de la Compagnie du Nord, car son ressort dynamométrique se trouvait aussi à hauteur du plancher et les opérateurs étaient obligés de se placer dans une sorte de boite surbaissée.

Ce wagon a été démoli depuis un certain nombre d'années.

La Compagnie de l'Est a fait figurer à l'Exposition Universelle de Paris, en 1878, un wagon dynamométrique de construction plus perfectionnée, entièrement exécuté dans ses ateliers, sur les données de M. Marcel Deprez, mises au point par MM. Gerhardt, Flaman, Napoli et Barbey. Le papier se déroule à raison de 386 mm par kilomètre. On y inscrit les efforts de traction, les temps, les points particuliers de la voie, par des procédés analogues à ceux déjà décrits. Il enregistrait aussi les efforts de compression des tampons, mais on y a renoncé depuis un certain temps.

La bande de papier était entraînée par un mécanisme avec encliquetage Dobo, de sorte que le papier se meuve toujours dans le même sens quelle que soit l'orientation du véhicule par rapport à la machine. Ce dispositif a été remplacé par un embrayage plus simple.

Un totalisateur permettait de se rendre compte du travail au

crochet de traction. Cet appareil a été supprimé. Nous en retrouverons d'autres fondés sur le même principe.

Enfin, il était muni d'appareils imaginés par M. Marcel Deprez, ayant pour but de relever, dans le fourgon, des diagrammes de la pression dans les cylindres de la machine.

Ces appareils comprenaient des explorateurs de pression, des régulateurs de pression, et divers autres détails dont la description nous entraînerait trop loin. Ces appareils sont d'ailleurs connus d'un grand nombre d'entre vous.

Je dirai seulement que, pour l'obtention de diagrammes par ce procédé, on doit admettre que la machine fonctionne en régime constant pendant toute la durée de l'expérience et que les diagrammes sont constitués par une série de points dont chacun correspond à une position différente du piston.

Ces appareils spéciaux avaient pour but de comparer le travail développé dans les cylindres à celui qu'on recueille à la barre de traction, à l'arrière du tender, et de déterminer ainsi le rendement de la machine.

Je crois qu'ils ne sont plus utilisés, tout au moins dans leur forme primitive. D'ailleurs, le rendement ainsi calculé n'était pas absolument exact, car il ne faut pas oublier que la machine doit supporter la plus grande partie de la résistance due au vent et que, toutes choses restant égales d'ailleurs, le rendement trouvé par ce mode de procéder serait notablement modifié si l'on mettait la machine en queue du train.

Le ressort de traction a été renforcé en utilisant les lames de l'ancien wagon et peut enregistrer des efforts de 12 et 13000 kg.

Il a servi récemment à étudier les machines de la série 4000 qui remorquent de lourds trains de minerais d'Hirson vers l'Est.

P.-L.-M.

La Compagnie P.-L.-M. possède deux wagons dynamométriques semblables entre eux, qui ont été construits dans ses ateliers en 1888.

Ils sont montés sur trois essieux. Celui du milieu sert à la prise du mouvement. Cet essieu est à fusées intérieures; il se termine à un bout par une fusée extérieure qui porte une boîte de forme spéciale; dans cette boîte est une vis sans fin action-

nant une roue hélicoïdale dont l'arbre vertical avec joints à la cardan pénètre dans le compartiment et donne le mouvement à tout le mécanisme. Cette disposition est un peu compliquée, elle nécessite un essieu d'un type particulier et présente quelque difficulté pour le passage du véhicule sur les chariots transbordeurs. Mais cela ne paraît pas avoir d'inconvénient bien sérieux.

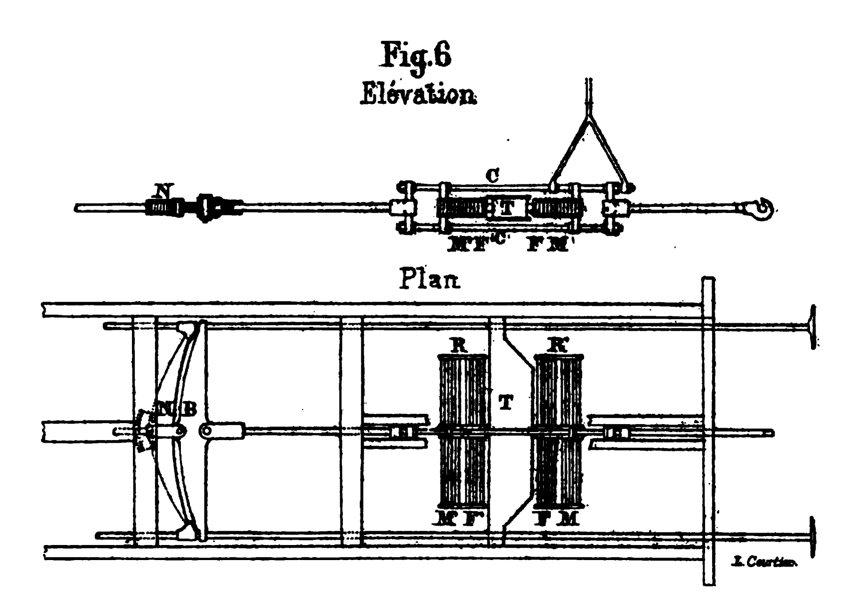
Le papier a une largeur de 480 mm ; il se déroule à raison de 100 mm par kilomètre, développement qui peut être doublé, quintuplé et même porté à 1 m.

On y enregistre les efforts, les temps, les points intéressants de la voie et, en outre, l'intensité et la direction du vent relatif.

Les efforts enregistrés ne sont pas seulement les efforts de traction mais aussi les efforts de compression des tampons.

J'ai représenté schématiquement sur la figure 6 la disposition du tamponnement et des ressorts dynamométriques.

Ces ressorts R et R′ sont doubles. Les groupes de six lames



fixes F et F′ sont reliés à une traverse T faisant partie du châssis. Les groupes de six lames mobiles M et M′ peuvent être entraînés séparément et en sens contraire par un cadre C faisant partie de la tige de traction et relié au crayon inscripteur des efforts.

De leur côté, les tampons agissent sur un grand ressort à lames N, relié par une bielle à un balancier B, attaché lui-même au cadre C de la tige de traction. Cette disposition rappelle l'attelage Chevalier et Rey qui existe à l'autre extrémité du véhicule.

Il en résulte que, lorsqu'on exerce sur le crochet un effort de traction, celui-ci se transmet au groupe mobile M par le cadre C: le crayon des efforts de traction trace une courbe en avant de la ligne de base; et que, lorsqu'on exerce un effort sur les tampons, celui-ci se transmet par le balancier B et le même cadre C aux lames mobiles M′: le crayon trace alors un trait en arrière de la ligne de base.

On voit également que lorsque le crochet est tiré, il emporte avec lui le balancier B, le ressort N et, par suite, les tampons, de sorte que ceux-ci restent en contact avec ceux de la machine; c'est un avantage sérieux au point de vue de la stabilité du véhicule en marche.

On peut enregistrer des efforts de 10000 kg et la flexibilité des ressorts est de 18 mm par tonne.

Il n'y a rien à dire de l'enregistrement des temps ni de celui des points particuliers de la voie.

L'intensité du vent se mesure au moyen d'un anémomètre comme celui que j'ai déjà décrit; mais la direction du vent est inscrite d'une manière assez curieuse.

Sur le toit, une girouette est montée sur un arbre vertical qui descend près de la table d'expérience.

Sur cet arbre sont montés deux excentriques commandant chacun un crayon : le premier excentrique est calé dans la direction de la girouette, le second est perpendiculaire au premier; un troisième crayon est fixé en regard de la position qu'occupe le deuxième lorsque la girouette est dans l'axe du wagon. Les ordonnées des courbes décrites par les deux crayons mobiles relevées par rapport à la droite que trace le crayon fixe, donnent le sinus et le cosinus de l'angle que fait le vent avec l'axe du wagon.

L'existence de deux wagons identiques permet de comparer deux rames comportant des dispositions différentes, en éliminant toutes les causes extérieures qui viennent souvent troubler les expériences. A cet effet, on place un des wagons en tête du train comportant les deux rames à étudier, l'autre wagon étant intercalé entre les deux rames.

Le premier donne la résistance totale de train, le second, la résistance de la deuxième rame, et la différence est la résistance de la première.

Ouest.

L'appareil dynamométrique du fourgon d'expériences de la Compagnie de l'Ouest a été construit, en 1889, par un de nos Collègues, M. J. Digeon, et a figuré la même année à l'Exposition Universelle de Paris. Il a figuré également à l'Exposition de Chicago.

Il enregistre :

1° Les efforts de traction;
2° Les points intéressants de la voie;
3° Les temps;
4° Les tours de roue;
5° La vitesse;
6° Le travail développé à la barre de traction. De plus, deux crayons fixes tracent les origines des efforts de traction et de la courbe des vitesses.

Le wagon est monté sur deux essieux, dont celui d'avant, moteur, commande les appareils par une vis sans fin présentant une disposition analogue à celle des wagons Nord et Est.

Le wagon doit être agrandi prochainement. On y ajoutera un compartiment avec banquettes et tables de travail et l'on y placera un troisième essieu; ce sera l'essieu du milieu qui sera moteur.

Le ressort dynamométrique est composé de deux groupes de 7 lames; il a une flexibilité de 16,1 mm par tonne et peut enregistrer des efforts maxima de 7 500 kg.

Pour la circulation en dehors des trains d'expériences, un dispositif permet d'isoler le ressort dynamométrique et de reporter l'effort de traction sur un groupe de rondelles Belleville.

Les points intéressants de la voie, kilomètres, stations, etc., sont enregistrés par un observateur au moyen de boutons électriques.

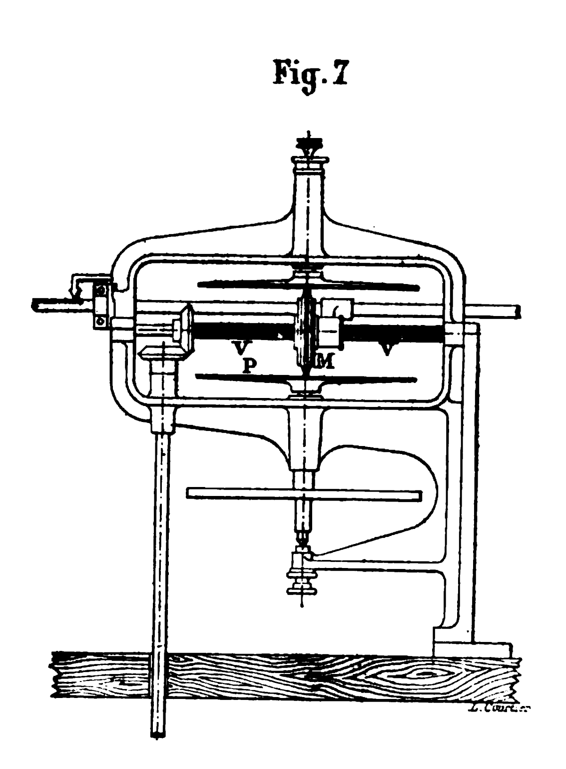
Les temps sont marqués toutes les 10 secondes par une pendule à contacts électriques.

Les tours de roue sont inscrits par un électro-aimant qui reçoit un contact tous les 10 tours de roue.

Pour la première fois, nous voyons inscrire directement la vitesse sur le papier du dynamomètre. Ce résultat est obtenu au moyen d'un appareil spécial imaginé par M. Gauthier, alors Ingénieur chef du Service central du Matériel et de la Traction de la Compagnie de l'Ouest, actuellement Ingénieur principal du Service administratif.

Voici le principe du système : un plateau horizontal P (*fig.* 7) est animé d'un mouvement uniforme, 180 tours par minute. Sur ce plateau s'appuie une molette M placée dans un plan perpendiculaire à un diamètre du plateau et montée sur une vis V horizontale. La vis V est animée d'un mouvement de rotation de vitesse proportionnelle à celle de l'essieu moteur et, par suite, à celle du train. En vertu de ce mouvement, si la molette ne tournait pas sur elle-même, elle se trouverait rapidement amenée au bout de la vis comme un écrou dont le boulon se mettrait à tourner sur lui-même. Pour éviter cet effet, il suffit de faire tourner la molette-écrou dans le même sens que la vis-boulon.

Fig. 7



Si l'on suppose que la molette est au centre du plateau P, elle ne reçoit de lui aucun mouvement. Lorsqu'on met le véhicule en marche, la vis-support de la molette tend à écarter cette dernière du centre du plateau et alors la molette se met à tourner aussi et dans le même sens que la vis. Sa vitesse de rotation augmente au fur et à mesure qu'elle s'éloigne du centre du plateau et il arrivera un moment où cette vitesse sera

égale à celle de la vis; à ce moment, la molette ne s'éloigne plus sous l'action du mouvement de la vis et sa distance du centre du plateau peut servir de mesure à la vitesse du train.

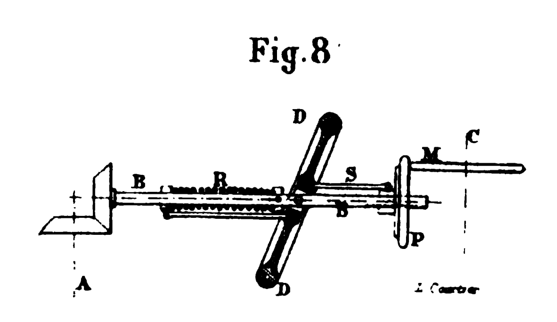
Si, par exemple, la vitesse du train vient à diminuer, celle de la vis V diminue dans la même proportion; la molette, tournant alors plus vite que la vis, se rapproche du centre du plateau à vitesse constante jusqu'à ce qu'elle retrouve une nouvelle position d'équilibre et ainsi de suite(1).

Il reste à voir comment on peut arriver à donner au plateau P une vitesse constante.

Ce résultat est obtenu au moyen d'un dispositif spécial, tout à fait particulier au wagon de l'Ouest, imaginé par M. Gauthier, en collaboration avec M. Digeon.

Il consiste à transformer le mouvement éminemment variable de l'essieu moteur en un mouvement régulier.

Soit A *(fig. 8)* un arbre de transmission recevant indirectement de l'essieu son mouvement variable, cet arbre engrène par pignons d'angle avec un autre B qui lui est perpendiculaire et qui prendra les mêmes vitesses que lui. Ce deuxième arbre B porte à son autre extrémité un plateau P garni de cuir, qui participe de son mouvement de rotation et peut, en outre, subir un léger déplacement suivant l'axe, de manière à s'éloigner d'une molette M servant à transmettre son



(1) Soit Ω la vitesse angulaire constante de rotation du plateau, ω la vitesse de rotation de la vis à un moment donné et r le rayon de la molette.

La molette se place à une distance d du centre du plateau telle que :

$$r\omega = d\Omega,$$

d'où :

$$d = r\frac{\omega}{\Omega}.$$

Ce qui revient à dire que d est proportionnelle à ω, qui est elle-même proportionnelle à la vitesse du train. d peut donc servir à mesurer la vitesse du train.

Le maximum de $d\Omega$ et $R\Omega$, R étant le rayon du plateau à vitesse constante; à ce moment, la molette est à la limite extrême de sa course.

De l'équation $r\omega = R\Omega$ on peut tirer la vitesse ω, limite que la vis peut prendre lorsque tous les autres éléments sont déterminés et en déduire le rapport des engrenages à placer entre l'essieu et la vis de l'appareil. Cette équation peut également servir à déterminer les dimensions des organes à adopter pour mesurer une vitesse maxima fixée *a priori*.

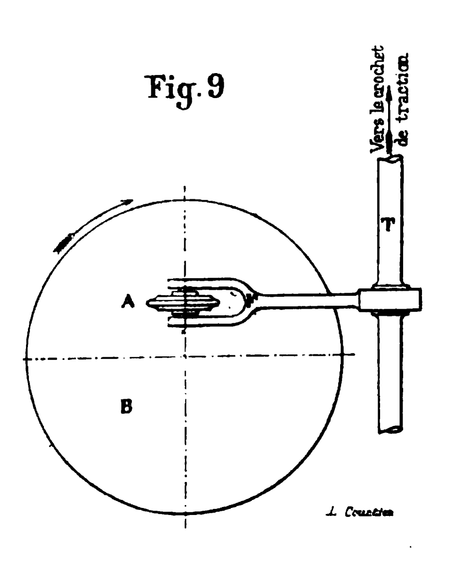
mouvement à un autre arbre C muni du même dispositif et perpendiculaire à B.

Sur cet arbre B est calé un disque à bord renflé D. Au repos, ce disque, obéissant à l'action d'un ressort antagoniste réglable R, prend une position oblique sur son axe. Lorsque l'arbre qui le porte se met à tourner, le disque tend à prendre la position perpendiculaire en bandant son ressort antagoniste. En même temps, il agit par une bielle S sur le plateau P qui s'éloigne de la molette M, de sorte que l'arbre C que commande cette dernière prend du retard sur l'arbre A.

Il y a trois arbres semblables à B, munis du même dispositif, tous dans un plan horizontal perpendiculaires successivement l'un à l'autre, intercalés entre l'arbre A et le plateau qui doit recevoir un mouvement constant.

Cet ensemble donne d'excellents résultats; mais je dois dire qu'un dispositif analogue, monté dans le wagon du Nord, n'a pas donné satisfaction. Il est vrai que nous avions demandé au constructeur de prendre ses dispositions pour enregistrer des vitesses pouvant atteindre 125 km à l'heure et qu'il avait cru nécessaire d'ajouter un quatrième arbre à disque oblique qui a probablement troublé le fonctionnement général. Le décès du constructeur étant survenu, les essais n'ont pas été poursuivis.

L'enregistrement du travail développé à la barre de traction se produit au moyen d'un appareil totalisateur constitué comme suit (*fig. 9*) : la tige T qui porte le crayon des efforts de traction est munie d'une fourche F qui imprime à une molette des déplacements égaux à ceux du crayon. Cette molette A reste toujours en contact avec un plateau horizontal B animé d'un mouvement de rotation dont la vitesse est proportionnelle à celle de l'essieu.



Lorsqu'il n'y a pas d'effort de traction, la molette A est en contact avec le centre du plateau B et reste immobile ; aussitôt qu'un effort se produit au crochet de traction, la molette s'éloigne du centre du plateau et reçoit de celui-ci un mouvement de rotation dont la vitesse dépend à la fois de la distance de la molette au centre du plateau et de la vitesse même du plateau. Le nombre de tours de la molette, multiplié par un facteur constant dépendant de son diamètre, donne le travail développé. Avec les dimensions adoptées, un tour de molette correspond à 10 000 kgm (1).

Sur l'arbre de la molette est installé un compteur de tours dont il suffit de lire les indications au commencement et à la fin d'une période déterminée pour avoir, par différence, le travail total pendant cette période.

Afin d'enregistrer ce travail, l'arbre de la molette fait tourner un cylindre sur lequel on a creusé une rainure hélicoïdale continue et fermée, dans laquelle glisse un petit galet. Ce galet porte un chariot porte-crayon qui effectue ainsi une série de va-et-vient traçant sur le papier une sorte de sinusoïde dont les sommets sont, sur deux lignes distantes de 60 mm. Une course du crayon entre ces deux lignes représente un travail de 600.000 kgm.

P.-O.

En 1903, la Compagnie P.-O. a construit dans ses ateliers un wagon dynamométrique dont les appareils de précision ont été exécutés par MM. Amsler-Laffon et fils, de Schaffouse.

(1) Soit l la distance de la molette au centre du plateau, distance qui est proportionnelle à l'effort de traction ; $d\omega$ la rotation angulaire infiniment petite du plateau et $d\alpha$ la rotation correspondant de la molette de rayon r, on a :

$$rd\alpha = ld\omega,$$

en intégrant pour tout temps, $t - t_0$:

$$r\int_{t_0}^{t} d\alpha = \int_{t_0}^{t} ld\omega.$$

d'où :

$$r\alpha - r\alpha_0 = \int_{t_0}^{t} ld\omega.$$

Le premier membre de cette équation représente le nombre de tours de la molette pendant le temps $t - t_0$.

Dans le second membre, l mesure l'effort de traction et $d\omega$ est proportionnel au chemin parcouru pendant le même temps par le train. $ld\omega$ est donc proportionnel au travail réalisé au crochet de traction et, par suite, le nombre de tours de la molette peut servir à la mesure du travail au crochet de traction.

Le wagon est porté par trois essieux ; celui du milieu, moins chargé que les autres, sert à la prise de mouvement au moyen d'une vis sans fin. Le papier a un déroulement de 100 mm par kilomètre pour la marche normale et de 500 mm pour l'étude des démarrages, etc. La prise de mouvement sur l'essieu et les appareils d'entraînement du papier peuvent être débrayés à volonté.

La largeur du papier est de 48 centimètres.

On y enregistre :

1° Les efforts de traction et de compression ;

2° Le temps ;

3° Les points particuliers de la voie ;

4° La vitesse ;

5° Enfin, le travail totalisé.

L'enregistrement des efforts de traction ou de compression, des temps et des points particuliers de la voie se fait au moyen de dispositifs non pas identiques, mais analogues à ceux des wagons du P.-L.-M. Celui des efforts totalisés est fondé sur le même principe que dans le wagon de l'Ouest avec quelques différences dans les moyens de réalisation.

Fig. 10

L'indicateur enregistreur de la vitesse inventé par M. Alfred Amsler mérite une mention particulière.

Une sphère en acier S repose sur trois galets. Les deux galets A et B (*fig. 10*) sont disposés dans deux plans verticaux perpendiculaires entre eux et de telle sorte que leurs centres soient à la même hauteur que celui de la sphère. Le troisième galet C est situé au repos, dans le même plan vertical que le galet A, mais son point de contact avec la sphère est situé au-dessous du centre de celle-ci ; il est monté dans un cadre fixé sur un axe situé dans le prolongement de l'axe vertical de la sphère, de manière que le centre du galet puisse décrire un arc de cercle horizontal. Avec cette disposi-

tion, le moindre choc latéral ferait tomber la sphère à l'opposé du galet B ; pour s'y opposer, un autre galet est pressé contre la sphère au moyen d'un ressort à boudin. Il ne figure pas sur le croquis, car il n'intervient pas dans le fonctionnement de l'appareil.

Le galet A reçoit un mouvement uniforme de rotation autour de son axe ; le galet B est animé d'un mouvement de rotation de vitesse proportionnelle à celle de l'essieu.

Supposez que le galet A tourne seul, la sphère va se mettre à tourner sur elle-même, autour d'un axe horizontal parallèle à celui du galet A et, servant pour ainsi dire d'engrenage, fera tourner le galet C sur lui-même autour d'un axe parallèle à ceux de la sphère et du galet moteur.

Supposez maintenant que le galet A soit immobile et que ce soit seulement le galet B qui se meuve, il fera tourner la sphère autour d'un axe parallèle à celui de B et celle-ci tendra à faire tourner le galet C qui, pour obéir au mouvement avec le moins de glissement possible, viendra, en faisant mouvoir son cadre autour de l'axe vertical qui le supporte, se placer de façon que son plan soit le même que celui du galet B.

Si maintenant nous supposons que le galet A tourne à une vitesse constante et le galet B à une autre vitesse, la sphère se mettra à tourner autour d'un axe qui ne sera parallèle ni à celui de A, ni à celui de B et elle entraînera le galet C qui se déplacera jusqu'à ce que son plan soit perpendiculaire à l'axe autour duquel s'effectue la rotation de la sphère. Si j'osais m'exprimer ainsi, je dirais que le galet cherchera la position du moindre effort.

Si le cadre qui le porte est muni d'une aiguille se mouvant en face d'un cadran gradué d'avance, on pourra y lire à chaque instant la vitesse du train. En reliant le même cadre à un système articulé muni d'un crayon, on inscrit sur le papier une courbe des vitesses.

Ici, comme dans le wagon de l'Ouest, nous sommes en présence de deux mouvements : l'un de vitesse proportionnelle à celle du train, l'autre de vitesse constante. Le premier est toujours facile à obtenir ; voyons comment on a réalisé le second.

Entre l'arbre F (*fig. 11*), animé d'une vitesse proportionnelle à celle de l'essieu et l'arbre K porteur du galet A qui doit avoir une vitesse constante, on interpose un mouvement rudimentaire d'horlogerie avec addition d'un modérateur à ailettes M.

Sur l'arbre F est calé un tambour G sur lequel s'enroule une ficelle attachée à ses deux extrémités à des roues dentées N et P.

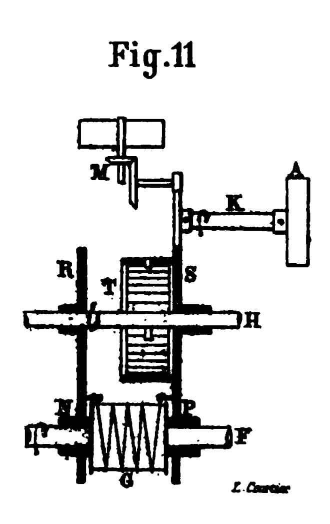


Fig. 11

Ces roues engrènent avec deux autres R et S de même diamètre dont la première est calée sur l'arbre intermédiaire H et dont la seconde porte un barillet à ressort T. Ce ressort en spirale est relié par une extrémité à l'arbre H et par l'autre au barille et par suite à la roue S. C'est la roue S qui est chargée de conduire l'arbre K et son galet A. Au delà, se trouve le régulateur à ailettes M.

Quand il est bandé, le ressort en spirale T tend à faire tourner le galet A et le moulinet M. En marche, la résistance de ce moulinet et les résistances passives font à chaque instant équilibre à la tension du ressort. Il suffit donc pour que le mouvement du galet soit uniforme, que le ressort reste constamment bandé à la même tension.

Pour cela. il suffit que la position angulaire relative des roues R et S soit constante c'est-à-dire que la position relative des roues N et P avec lesquelles elles engrènent soit elle-même constante. La position relative voulue de ces deux dernières est assurée, puisqu'elles sont folles sur l'arbre F et qu'elles sont réunies par une ficelle inextensible.

Il résulte de cette disposition :

1° Que la roue à barillet et le galet A ne peuvent se mettre en mouvement sous l'action du ressort T lorsque le wagon est au repos ; il faudrait pour que le contraire eût lieu, que la roue P puisse entraîner le tambour G et par suite l'essieu lui-même ;

2° Que la tension initiale donnée au ressort ne peut diminuer par suite de l'inextensibilité de la ficelle enroulée sur le tambour G ;

3° Que cette tension initiale ne peut non plus augmenter. En effet, si elle augmentait, la ficelle deviendrait lâche sur le tambour G, le ressort T ferait tourner les roues S et P indépendamment des roues N et R et se détendrait jusqu'à ce qu'il soit

revenu à la tension qui correspond à la longueur de la ficelle.

On peut d'ailleurs modifier cette tension initiale en faisant varier le point d'attache de la ficelle sur les roues N et P. Elle est ordinairement réglée de manière qu'une roue à rochet, montée sur l'arbre intermédiaire H, donne soixante battements par minute.

Cet indicateur de vitesse, très intéressant dans son principe et dans son exécution, donne de bons résultats, sauf pour les faibles vitesses inférieures à 8 ou 10 km à l'heure. Il présente en outre le petit inconvénient de n'avoir pas une échelle constante des vitesses. Cette échelle va en diminuant au fur et à mesure que les vitesses augmentent et pour les très grandes allures, les erreurs de lecture sont plus faciles à commettre (1).

Le totalisateur du travail est fondé sur le même principe que celui du wagon de l'Ouest.

Pour l'inscription sur le papier, le cylindre monté sur l'axe de la molette de l'Ouest est remplacé ici par un train de trois pignons disposés de telle sorte que le pignon conduit soit en prise tantôt avec l'un, tantôt avec l'autre des deux pignons conducteurs et reçoive ainsi un mouvement alternatif qui, au moyen d'une crémaillère, se transforme en un mouvement de va-et-vient pour le crayon inscripteur.

État belge.

A l'Exposition Universelle de Liége, en 1905, figurait un superbe wagon dynamométrique construit dans les ateliers de la

(1) Soient : n_1 le nombre de tours par seconde du galet A ; n_2 le nombre de tours du galet B dont la vitesse est proportionnelle à celle du train ; d leur diamètre commun ; D le diamètre de la sphère.

Le galet A tournant seul communiquerait à la sphère un mouvement de rotation inverse, dont la vitesse angulaire serait $\frac{2\pi n_1 d}{D}$.

Le mouvement de la sphère résultant du mouvement simultané des deux galets A et B sera une rotation autour d'un axe horizontal passant par son centre et dont on obtiendra la direction en suivant la règle de composition des rotations. Il suffit pour cela de porter sur les axes respectifs des galets des longueurs proportionnelles à n_1 et n_2. La diagonale du rectangle ainsi obtenu donne la position du diamètre autour duquel tourne la sphère. Cet axe fait avec celui du galet A un angle φ tel que :

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{\frac{2\pi n_2 d}{D}}{\frac{2\pi n_1 d}{D}} = \frac{n_2}{n_1}.$$

C'est-à-dire que les intervalles entre les divisions du cercle gradué sont proportionnels aux valeurs de $\operatorname{tg}\varphi$ soit au rapport du nombre de tours des galets A et B.

Société Nicaise et Delcuve, à La Louvière, pour l'Administration des Chemins de fer de l'État belge.

Ce wagon est à deux bogies distants de 10,71 m d'axe en axe, et la caisse a une longueur de 16,14 m, non compris les tampons.

Il comporte une grande salle d'expériences communiquant directement avec une vigie surélevée, un salon pour six personnes avec table de travail, un petit compartiment pour appareil de chauffage à thermosiphon pouvant être chauffé par un foyer spécial ou par la vapeur de la machine ; un autre compartiment réservé à d'autres appareils de mesure et enfin un cabinet de toilette.

La prise de mouvement se fait sur l'essieu d'avant du bogie d'avant, par une vis sans fin comme dans la plupart des wagons que nous avons passés en revue. Mais pour tenir compte des déplacements relatifs plus importants d'un essieu de bogie, il a fallu pour la transmission aux appareils intérieurs utiliser trois arbres avec joints à la cardan.

Les appareils inscripteurs des efforts de traction et de compression, des temps, des points spéciaux de la voie, de la vitesse, et du travail totalisé, sont exactement semblables à ceux du P.-O. qui a d'ailleurs servi de modèle.

On y a adjoint d'autres appareils : un dynamomètre d'inertie, système de M. Desdouits, ancien Ingénieur en chef des Chemins de fer de l'État français; des appareils Kaptein destinés à l'étude des freins à air comprimé; enfin des appareils imaginés par M. Sabouret, Ingénieur en chef à l'Ouest, pour l'exploration de la voie.

Je n'entrerai pas dans le détail de ces dispositifs qui ne sont pas des appareils dynamométriques proprement dits, laissant à d'autres plus autorisés le soin de vous entretenir en particulier des wagons spéciaux servant, pour ainsi dire, à l'auscultation des voies.

Le wagon État Belge comporte, en outre, un appareil imaginé par M. Doyen, Ingénieur principal de l'État Belge, pour l'étude de la résistance de l'air. Il comprend deux arbres concentriques descendant juste au-dessus du papier enregistreur et portant au-dessus du toit un anémomètre à quatre cuillères, monté sur l'arbre intérieur et une girouette fixée à l'arbre creux extérieur.

L'arbre de la girouette porte, dans le voisinage du papier, un petit bâti en fonte dont l'axe est situé dans le plan de la girouette. Ce bâti donne donc à chaque instant la direction du vent relatif.

Un petit chariot portant un crayon peut se mouvoir dans l'axe du bâti; il est mis en mouvement à l'aide d'une crémaillère et d'un train d'engrenages par l'arbre intérieur portant l'anémomètre. Le chemin que parcourt ce chariot pendant un temps donné est, par conséquent, proportionnel à la vitesse du vent relatif : toutes les trente secondes, un déclenchement électrique et un ressort de rappel ramènent brusquement ce chariot à son point de départ. La longueur du trait tracé sur le papier pendant ce mouvement de recul peut donc servir à la mesure de la vitesse du vent relatif, tandis que le trait donne lui-même la direction de ce vent; pourvu, bien entendu, que la girouette ne se mette pas à tourner au même instant.

L'ancien wagon de l'Est pesait 5,50 t et sa caisse avait 4,80 m de longueur, l'écartement de ses essieux était de 2,45 m. Celui-ci pèse 35 t et la distance des essieux extrêmes est de 13,21 m. Cela peut donner une idée du chemin parcouru. On peut même se demander cette fois si l'on n'a pas été un peu loin.

Amérique.

Les Américains ne se poseraient probablement pas cette question, car si l'on examine quelques-uns des wagons dynamométriques qu'ils ont construits dans ces dernières années, on peut constater qu'ils ont travaillé largement. Habitués qu'ils sont aux voitures à bogies, ils n'ont pas hésité à monter sur bogies les wagons qu'ils ont construits soit pour l'étude de la voie, soit pour servir à l'instruction de leur personnel au sujet des freins continus, soit enfin pour loger leurs appareils dynamométriques.

Le wagon construit vers 1901, par l'Université d'Urbana, en collaboration avec le Chemin de fer de l'Illinois Central, comporte une caisse de 13,70 m de longueur sur 2,70 m de largeur, portée sur deux bogies à quatre roues.

Au point de vue des tracés, il présente une grande analogie avec celui du Chemin de fer du Nord.

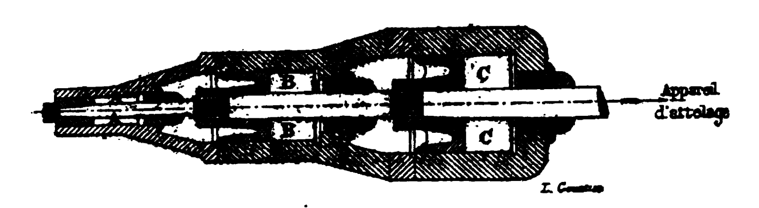
Mais le ressort dynamométrique est remplacé par un cylindre (*fig. 12*) dans lequel sont montés trois pistons de diamètres différents fixés sur la tige reliée à l'appareil de traction.

Suivant les efforts à enregistrer, on fait comprimer de l'huile par l'un ou l'autre des pistons; la pression qui en résulte est

transmise à un manomètre à cadran et à manomètre enregistreur qui trace sur le papier la courbe des efforts de traction.

Une tuyauterie assez compliquée permet d'introduire l'huile

Fig. 12



d'un réservoir supérieur dans l'une ou l'autre des cavités du cylindre triple et l'huile, provenant des fuites peu importantes mais à peu près inévitables, est recueillie dans un réservoir d'où elle peut être remontée dans le réservoir supérieur par la pression de l'air comprimé des freins.

La pression maxima que peut supporter le cylindre triple, est d'environ 80 kg par centimètre carré ce qui, pour les trois diamètres de 64, 157 et 222 mm, correspond à des efforts de 2600, 15 500 et 31 000 kg.

En 1905, le Northern Pacific a construit un wagon sur les mêmes principes, mais l'effort de traction est enregistré d'une manière un peu différente.

La pression du cylindre sur lequel agit le crochet de traction est transmise à deux petits cylindres, distants d'environ 30 cm et dont les pistons sont montés sur une tige commune qui agit sur un ressort taré d'avance. C'est cette tige qui porte le crayon enregistreur.

Il y a quelques mois que le Pennsylvania Railroad mettait en service son cinquième wagon dynamométrique. Le précédent datait de 1885 et pouvait enregistrer des efforts de 12 à 13 t. Le dernier peut enregistrer des efforts de traction ou de compression de 45,5 t.

Il est fondé sur les mêmes principes que ceux qui viennent d'être décrits. Un cylindre principal dans lequel se trouve de l'huile porte un piston qui est relié à l'appareil d'attelage américain, qui, vous le savez, sert à la fois de crochet de traction et d'appareil de tamponnement.

La pression de l'huile est transmise à un groupe de pistons

dont la tige porte le crayon des efforts et est retenue par une série de ressorts à boudins, préalablement tarés.

Le cylindre principal ne comprend qu'un piston au lieu de trois comme précédemment et ce sont les ressorts des pistons enregistreurs qui sont groupés en plus ou moins grand nombre suivant l'importance des efforts.

Ces ressorts ont été construits d'une manière toute spéciale.

Un tambour en acier au nickel a été dégrossi au tour intérieurement et extérieurement, coupé à la longueur voulue et trempé à l'huile. Après l'avoir ensuite alésé exactement et placé sur un mandrin, on y a découpé une rainure en spirale en partant de près d'une extrémité et s'arrêtant près de l'autre, ce qui a donné un ressort de section carrée à bouts massifs. Ce ressort a été ensuite soigneusement essayé et meulé jusqu'au moment où il a donné des flexions proportionnelles aux charges appliquées. La série de ces opérations a duré près d'un mois par ressort d'environ 700 mm de hauteur. Les diamètres varient de 142 a 185 mm suivant les efforts à enregistrer.

Il semble que ce soit là une solution un peu compliquée. L'expérience que nous avons des ressorts à lames droites permet de dire qu'on aurait probablement pu les employer au lieu de ressorts spirales.

Le mouvement du papier est pris sur l'un des essieux du bogie d'arrière par une disposition analogue à celle de l'État Belge, mais les bandages des roues de cet essieu sont tournés cylindriquement pour éviter les erreurs qui pourraient résulter de la conicité. Le papier se déroule à raison d'environ 85 mm par kilomètre. Il a une largeur de 45 cm.

Un style indique si les efforts, toujours inscrits dans le même sens, sont de traction ou de compression.

Un autre est relié à un totalisateur de travail.

Les parcours de 300 m environ sont pointés électriquement par une molette en contact avec le papier. Cette solution ne paraît pas très recommandable, car si le papier glisse, la molette suit le mouvement et ne rectifie pas l'erreur.

Une pendule enregistre toutes les cinq secondes.

Enfin, d'autres styles permettent de pointer de la machine, le moment où l'on relève des diagrammes, la position du levier de changement de marche, celle du régulateur et les points principaux de la voie.

La caisse de ce wagon, qui mesure 14,65 m entre les traverses

extrêmes, est divisée en deux compartiments principaux : le premier, à l'avant, constitue la salle de travail; le second, à l'arrière, est la chambre d'habitation. Entre les deux, sont les cabinets de toilette et, tout à fait à l'extrémité d'arrière, un grand cabinet fermé pour les provisions, le chauffage, le combustible et un petit atelier.

La chambre d'habitation, de 4 m de longueur, sert de salle à manger et, la nuit, peut être transformée en chambre à coucher de huit lits.

Le wagon est éclairé à l'électricité par une batterie d'accumulateurs qui peut être chargée au moyen d'un générateur à accouplement direct.

Ce wagon pèse 62 t en ordre de marche. Nous voilà loin des 5,5 t des premiers wagons français et, si ces derniers pouvaient être considérés comme trop légers pour des trains un peu rapides, beaucoup d'Ingénieurs européens seraient d'accord pour trouver que celui du Pennsylvania Railroad est un peu lourd.

Comme conclusion, vous serez peut-être amenés à me demander ce que je ferais si j'avais à proposer la construction d'un wagon dynamométrique.

Ma réponse sera courte.

Je prendrais dans sa disposition générale le châssis avec traction et tamponnement du P.-L.-M. Les appareils et ressorts dynamométriques seraient du type du P.-O. mais pouvant enregistrer des efforts de 20 t. Pour l'indicateur de vitesse, j'adopterais le système de l'Ouest en le modifiant : je voudrais pouvoir donner au plateau une vitesse constante au moyen d'un ressort qui permettrait de mettre le plateau en mouvement avant le démarrage, et qui serait remonté constamment en cours de route par le mouvement de l'essieu. Ce serait en somme une disposition analogue à ce qui existe dans les indicateurs de vitesse Hausshaelter ou Flaman dont sont déjà munies beaucoup de locomotives françaises et étrangères.

Un appareil spécial pouvant être mis en marche au moment du passage devant un poteau kilométrique enregistrerait automatiquement les parcours de 1 000 m.

Le wagon serait muni du dispositif de l'État Belge pour l'indication de la vitesse et de la direction du vent relatif. Deux ou trois crayons pourraient enregistrer des indications de la plateforme de la machine. Enfin, pour l'éclairage électrique, le système Stone ou un système analogue, prendrait son mouvement

sur un essieu autre que celui qui commande le mécanisme d'entraînement du papier. Dans les conditions ordinaires, la construction d'un wagon pourrait coûter environ 40000 f.

Ces notes étaient rédigées quand j'ai reçu de MM. Doyen et Huberti, ingénieurs à l'État Belge, une invitation d'assister à un voyage d'expériences avec le wagon de cette administration. J'ai accepté avec plaisir et j'ai fait mardi dernier, de Bruxelles à Ostende et retour, un voyage des plus intéressants.

Depuis 1905, le wagon a reçu quelques perfectionnements. Le pointage des bornes kilométriques se fait automatiquement par une disposition analogue à celle du Pensylvania. Une molette en ébonite dont la circonférence mesure exactement le déroulement du papier pour un kilomètre de parcours, soit 100 mm, est posée sur le papier. A chaque tour, elle ferme un circuit électrique qui actionne l'électro-aimant des kilomètres. On peut préparer le contact au moment où l'on va passer devant un poteau kilométrique, et il suffit de laisser retomber la molette pour que l'enregistrement se fasse avec une grande régularité et une exactitude presque absolue.

Le totalisateur du travail porte un dispositif, actionné électriquement de la machine et, qui permet d'arrêter le totalisateur au moment de l'application des freins. Il se produit en effet, à ce moment, un effort sur le train, non plus par la vapeur, mais par la différence de freinage entre la machine et le train et le travail en résultant ne doit évidemment pas être enregistré.

Enfin les crayons des appareils sont remplacés par des tire-lignes à encres de diverses couleurs qui donnent toute satisfaction. Les tracés sont très nets et très durables.

Messieurs et chers Collègues, en terminant, permettez-moi de vous remercier de votre bienveillante attention et d'adresser également tous mes remerciements à MM. Flaman et Ponsonnard de l'Est, Gauthier et Haracque de l'Ouest, Mottet du P.-L.-M., Laurent et Huet du P.-O., Doyen et Huberti de l'État Belge, que j'ai eu le plaisir d'accompagner à diverses époques avec leurs wagons dynamométriques, ou qui ont bien voulu me rafraîchir la mémoire sur quelques détails devenus un peu nébuleux.

Enfin, je ne voudrais pas oublier mes collaborateurs qui ont préparé les dessins que vous avez sous les yeux.

CHRONIQUE

N° 335

SOMMAIRE. — Utilisation de la tourbe pour la production de la force motrice. — Le développement du moteur à gaz. — Nettoyage par jet de sable et peinture par aspersion des constructions métalliques. — Nettoyage des conduites d'eau. — Gustave Zenner. — Le trafic du Gothard. — Extraction de l'hydrogène du gaz à l'eau.

Utilisation de la tourbe pour la production de la force motrice. — Nous avons eu déjà plusieurs fois occasion de traiter cette question. Aussi croyons-nous devoir reproduire des considérations très intéressantes présentées par le docteur A. Frank à une réunion récente de la Société allemande pour l'utilisation de la tourbe.

L'auteur a rappelé d'abord que les principales difficultés qui s'opposaient à l'emploi en grand de ce combustible étaient le volume excessif qu'il occupait, son faible pouvoir calorifique et aussi l'absence de procédés pratiques pour recueillir les composés azotés qu'il contient.

La première difficulté a été vaincue par la méthode de l'ingénieur Ziegler qui permet de transformer la tourbe en charbon compact ressemblant à celui qu'on obtient avec le bois ; on opère la combustion en soumettant la matière à une compression graduelle dans les cornues. Mais, pour obtenir de bons résultats par cette méthode, il faut que la tourbe contienne peu de cendres afin que le combustible obtenu ait une valeur suffisante pour couvrir les dépenses de transformation. Ces conditions ne se présentent qu'assez rarement, aussi le procédé Ziegler ne s'est-il pas beaucoup répandu.

Si on tient compte des conditions particulières où se trouve l'Allemagne qui ne dispose pas de forces hydrauliques importantes, on est conduit à admettre que le meilleur moyen d'utiliser la tourbe consiste à la transformer sur les lieux même d'extraction en gaz qui servira à alimenter des moteurs à explosion produisant l'énergie électrique. Ces gaz ont un pouvoir calorifique de 900 à 1 100 calories par mètre cube, et peuvent être employés directement dans de puissants moteurs. On sait qu'il n'est pas rare de voir des moteurs de 5 000 ch actionnés par les gaz des hauts fourneaux. Au 1er avril 1906, l'industrie sidérurgique allemande possédait 391 grands moteurs de ce genre d'une puissance collective de 416 000 ch.

L'auteur conseille de produire la transformation de la tourbe en gaz au moyen du gazogène Mond très employé en Angleterre en le combinant avec des appareils destinés à la récupération sous la forme de sulfate d'ammoniaque de la plus grande partie de l'azote contenu dans la matière première.

Ces gazogènes ont reçu un important perfectionnement par l'emploi

de la vapeur surchauffée qui permet de transformer en gaz des tourbes contenant de 50 à 55 0/0 d'eau avec une richesse assez élevée en sulfate d'ammoniaque.

Dans des expériences exécutées à Winnington (Angleterre) avec un gazogène Mond, on a transformé en gaz 650 t de tourbe de provenance italienne qui contenait à l'état sec 15,2 0/0 de substances minérales (cendres) 1.62 d'azote et 34.2 de carbone fixe. Le pouvoir calorifique était de 5 620 calories. La tourbe contenait en moyenne 40 0/0 d'eau et produisait par tonne 1 780 m³ de gaz donnant 1 360 calories par mètre cube. On a obtenu en outre 55 kg de sulfate d'ammoniaque. Les gaz étaient employés en partie à la production de la vapeur nécessaire pour la gazéification, pour la concentration de la solution de sulfate d'ammoniaque et il restait une quantité qui correspondait à 480 chevaux-heure par tonne de tourbe sèche.

L'avantage que présente le procédé qui vient d'être indiqué repose sur le fait de la valeur commerciale du sulfate d'ammoniaque qui, pour 100 t traitées, représente 1 525 f, alors que les dépenses ne dépassent pas 725 f, dont 250 f pour la main-d'œuvre, 30 f pour l'acquisition de l'acide sulfurique destiné au traitement des eaux ammoniacales et 188 f pour l'amortissement de l'installation ; le bénéfice ressortirait donc à 800 f.

Il est utile d'indiquer que le gaz obtenu alimentait un moteur qui d'ordinaire employait du gaz produit avec de l'anthracite et qu'on n'a observé aucune différence dans le fonctionnement du moteur dans les deux cas. Pendant l'extraction de l'ammoniaque, le gaz se dépouille des poussières entraînées mécaniquement de telle sorte qu'il n'en reste qu'une proportion de 0,016 gr par mètre cube. La proportion d'hydrogène dans les gaz ne varie que de 1/2 0/0 et on évite ainsi les inconvénients produits par les changements de composition qui ont une influence fâcheuse sur le fonctionnement et sur la durée des moteurs.

Les expériences ont permis de reconnaitre que le coût de l'énergie électrique ainsi obtenue ne ressortirait pas à plus de 0,6 centimes par cheval-heure. Aussi, à la suite de ces constatations, on a décidé l'installation à Sodingen, en Allemagne, d'une station d'essai pour permettre aux propriétaires de tourbières de se rendre compte des avantages présentés par cette méthode d'utilisation de la tourbe qui permet l'extraction de l'azote contenu dans cette matière. Ajoutons que, pour favoriser ces essais, les chemins de fer de l'État prussien transportent gratuitement la tourbe qui doit y être soumise.

Nous trouvons dans l'*Industria* les renseignements ci-dessus extraits du *Zeitschrift für angew-Chemie*.

Il nous paraît intéressant de signaler ici une autre méthode qui a été proposée récemment pour l'utilisation de la tourbe pour la production de la force motrice. Cette méthode, due à M. Ramsay, consiste à transformer la tourbe en alcool qu'on emploie dans des moteurs à explosion.

La tourbe humide est traitée dans des autoclaves par l'acide sulfurique; la cellulose se transforme en sucre qu'on extrait par des lavages, on soumet le liquide à la fermentation alcoolique et on sature l'excès d'acide par le carbonate de chaux; l'alcool est obtenu par distillation.

Les résidus liquides sont évaporés, desséchés, et calcinés; on en retire de l'ammoniaque et des huiles lourdes. Ce procédé présente de l'intérêt et les essais paraissent avoir donné de bons résultats.

Le développement du moteur à gaz. — Récemment M. Dugald Clerk a fait à la Société des Ingénieurs et Métallurgistes de Sheffield, une conférence sur la question du développement du moteur à gaz, développement qui a été réellement merveilleux dans les trente dernières années. Au début, ce moteur n'employait que le gaz d'éclairage, ce qui lui a valu son nom, mais, maintenant qu'on le fait fonctionner avec toute espèce de combustible, il est plus exactement appelé moteur à combustion intérieure. Ses progrès ont, d'ailleurs, été suivis parallèlement par ceux de la machine à vapeur dont l'un des plus intéressants est sa transformation en moteur à rotation directe ou turbine. L'électricité est venue de son côté faire concurrence au moteur à gaz, surtout pour la distribution de la force en petites unités.

Le rendement thermique du moteur à gaz a été toujours en augmentant, bien que dans une assez faible proportion ; on a aujourd'hui des moteurs qui donnent régulièrement en service un rendement de 35 0/0 et même un peu plus. Ces chiffres sont bien supérieurs à ce que donne la machine à vapeur, dans les meilleurs conditions. On a fait l'année dernière aux établissements de la National Gas Engine Company, des essais très intéressants pour rechercher quelle influence avait la grandeur de la machine sur le rendement thermique. On a opéré sur trois moteurs ayant la même compression, l'un de 5 ch, le second de 21 et le troisième de 50. On opérait dans les conditions aussi comparables que possible et avec beaucoup de soins ; on trouva un effet utile de 26,1 0/0 pour le premier moteur, 28 pour le second et 29,9 pour la troisième. les différences sont ainsi de 7,3 et 11,4 0/0 par rapport un moteur le plus faible.

Actuellement la production des moteurs à gaz en Angleterre a dépassé de beaucoup les chiffres des années précédentes et ces moteurs sont exportés largement sur le Continent, aux colonies et même en Amérique. Les constructeurs anglais ne dépassent généralement pas les puissances de 300 ch tandis que ceux du Continent exécutent couramment les moteurs de très grandes forces. Il est probable toutefois que les fabricants anglais ne vont pas tarder à les suivre sur ce terrain. Les grands moteurs ont l'inconvénient de coûter cher, mais il semble possible de les établir avec moins de poids de métal et par conséquent avec moins de frais qu'à présent.

Le conférencier pense qu'il serait à désirer, non seulement pour le développement de l'industrie des moteurs à gaz, mais dans l'intérêt général, qu'on pût avoir du gaz à meilleur compte. Il a dit, il y a longtemps qu'on pourrait très bien avoir du gaz à un shilling les 1 000 pieds cubes, ce qui revient à 4,5 centimes le mètre cube, or une ville, celle de Widnes, vend aujourd'hui son gaz pour force motrice à ce prix. C'est donc possible commercialement parlant. Le fait que la Compagnie du gaz de Sheffield vend ce gaz 4 centimes est la confirmation bien nette de l'exactitude de ses idées sur ce sujet.

A ce prix, on peut avoir 5 chevaux-heure pour 0,10 f. Un cheval au frein, avec une machine de 15 ch environ, ne doit pas coûter plus, tout compris, de 3 centimes l'heure. On doit obtenir ces résultats avec un moteur travaillant à la moitié et même au tiers de sa charge normale, car la différence de consommation n'est pas très sensible. Aucune machine à vapeur au-dessous d'une force de 150 ch ne peut donner des chiffres aussi bas.

Les gazogènes à aspiration sont des appareils qui présentent un grand intérêt. Dans beaucoup de villes le prix du gaz est un obstacle très sérieux à l'emploi des moteurs à gaz et est un argument en faveur de l'éclairage électrique. On est donc forcé d'avoir recours aux gazogènes et ceux-ci viennent opérer une pression sur les compagnies gazières pour les forcer à modérer leurs prix. Le conférencier ne conteste pas le moins du monde l'intérêt que présente l'électricité comme force motrice, mais elle a ses applications propres; son domaine est beaucoup moins dans les moteurs puissants que dans les petites forces employées, surtout d'une manière intermittente.

Nettoyage par jet de sable et peinture par aspersion des constructions métalliques. — M. de Witt C. Webb, Ingénieur civil attaché à la marine des États-Unis, a publié, dans l'*Engineering News*, des détails intéressants sur des opérations de nettoyage et de peinture effectuées à l'arsenal de Key West, en Floride, sur deux grands hangars métalliques servant de magasins de charbon ; ces hangars avaient de 4,80 à 6,10 m de hauteur et avaient leurs parois faites en tôle d'acier de 6 mm d'épaisseur. L'action de la chaleur, combinée avec celle des impuretés contenues dans le charbon et avec l'effet de l'eau de mer employée pour combattre les incendies amenés par les combustions spontanées, produisait une corrosion très rapide des surfaces intérieures; aussi fallait-il gratter et peindre ces surfaces toutes les fois que les hangars se trouvaient vides.

Dès que l'auteur se trouva en fonctions à l'arsenal, son attention fut appelée sur la question et il lui sembla que l'emploi de moyens mécaniques pour le nettoyage et la peinture de ces hangars devait être avantageux au double point de vue de l'économie et du temps.

Après approbation du projet par l'Administration supérieure, le matériel suivant fut acquis au prix de 10 850 f rendu à l'arsenal.

Une machine horizontale à gazoline de 20 ch ;

Un compresseur d'air débitant 2 500 l d'air par minute pris à la pression atmosphérique et comprimé à 2,10 kg; ce compresseur était mu par courroie par le moteur ;

Une pompe rotative également actionnée par courroie;

Un réservoir d'air de 0,45 m de diamètre sur 1,37 m de longueur.

Ces appareils étaient montés sur un chariot et protégés par un abri en bois.

Il y avait encore :

Deux appareils à jet de sable pouvant contenir 56 l de sable chacun ;

Deux appareils à projeter la peinture mus à bras, l'un pour un homme, l'autre pour deux ;

30 m de tuyaux pour le sable ;

60 m de tuyaux pour envoyer l'air comprimé aux appareils à jet de sable ;

120 m de tuyaux pour envoyer l'air comprimé aux appareils à peinture :

30 m de tuyaux pour le mélange d'air et de peinture ;

Deux casques avec ouvertures garnies de mica pour les yeux ;

60 m de tuyaux de 50 mm en fer galvanisé.

Avant la réception de ce matériel, le hangar A avait été vidé de charbon et le nettoyage des parois sur la surface intérieure avait été fait à la main. On avait ainsi gratté environ 650 m² sur un total de 840 moyennant un prix d'environ 2,25 f par mètre carré. Lorsque le matériel mécanique fut arrivé, on suspendit le travail à la main et, après quelques essais préliminaires, on mit les appareils en service. Le travail marcha assez lentement jusqu'à ce que les hommes fussent bien au courant ; les 190 m² de surface qui restaient furent grattés à fond et les 650 m² faits à la main parachevés moyennant une dépense totale de 508 f pour la main-d'œuvre et de 84 f pour la gazoline.

On a employé :

1 mécanicien	15 f	par jour
1 aide	11	—
2 hommes aux appareils à 9 f	18	—
1 aide aux appareils à 9 f	9	—
TOTAL	53	

On employait par journée de travail de 40 à 50 l de gasoline au prix de 0,27 f le litre soit 10,80 à 13,50 f.

On se servit, comme peinture, de coaltar mélangé dans la proportion, de 4 volumes, avec 1 d'huile de kérosène et 1 de ciment de Portland. Le ciment était d'abord brassé avec l'huile de façon à former une sorte de crème qu'on mélangeait ensuite avec le coaltar. On employait le mélange fraîchement préparé et bien brassé.

Le prix à Key West ressortait à 0,20 f le litre. On constata que ce mélange ne donnait pas d'aussi bons résultats dans les appareils à aspersion que la peinture à l'huile, mais cependant le travail était satisfaisant et très supérieur au travail à la main.

On employa, dans ce hangar, 245 l de mélange pour 840 m² de surface, ce qui correspond à 1 l pour 3,43 m² de surface peinte. On employait le même personnel que pour le nettoyage avec un homme en plus qui égalisait la couche de peinture au moyen d'une brosse à long manche. La dépense pour la peinture du hangar A s'éleva à 141 f de main-d'œuvre et 20 f de gazoline.

Au hangar B, on nettoya et peignit une surface totale de 1 162 m². Les surfaces métalliques étaient recouvertes d'une croûte de 3 mm d'épaisseur et le métal était fortement piqué. Cette croûte et la rouille étaient très difficiles à enlever. On trouva avantageux pour ce travail de faire attaquer d'abord la croûte par des hommes se servant de burins de manière à faciliter l'action du sable.

La main-d'œuvre totale, grattage et nettoyage, s'éleva à 270 f ; la

dépense de gazoline fut de 405 f et on employa 325 l de peinture au coaltar, ce qui représente 1 l pour 3,56 m² de surface peinte, chiffre presque identique à celui qui avait été obtenu pour le premier hangar. La dépense totale ressort à 2 270, soit 1.95 f par mètre carré.

Il n'est pas possible de donner séparément les dépenses pour le nettoyage et pour la peinture, parce que ces opérations se faisaient simultanément et que la main-d'œuvre leur était presque entièrement commune. Il y avait intérêt à agir ainsi pour laisser les surfaces nouvellement grattées le moins longtemps possible en contact avec l'atmosphère.

On s'est servi, dans le travail dont nous nous occupons, de sable siliceux fin, le seul dont on pût disposer à l'exception du sable provenant de corail, lequel a été trouvé trop tendre à l'essai. Un sable à plus gros grain aurait probablement eu plus d'effet.

Ce sable était repris, séché et utilisé de nouveau et cela à plusieurs reprises. On employait par jour environ 375 l de sable.

Cette matière doit être tenue parfaitement au sec; il y a d'ailleurs sur le marché plusieurs modèles d'appareils à sécher le sable. On obtient de très bons résultats en se servant tout simplement d'une feuille de tôle posée sur des briques et chauffée en dessous par un feu de bois.

Le travail qui vient d'être décrit n'a aucune prétention à présenter une économie spéciale.

La nature très compacte de la croûte à enlever, le prix élevé du combustible et de la main-d'œuvre et aussi le manque d'un sable approprié ont contribué à rendre la dépense relativement élevée. Mais, même dans ces conditions défavorables, le travail a coûté beaucoup moins que s'il avait été fait à la main et, ce qui est plus important, le nettoyage des surfaces a été beaucoup mieux effectué et bien plus complet que par la méthode ordinaire.

Nettoyage des conduites d'eau. — Un fait bien connu est l'accroissement de résistance et la diminution correspondante de débit que cause l'obstruction partielle des conduites d'eau par des dépôts, et on a proposé divers moyens de nettoyer automatiquement ces conduites. L'exemple suivant est intéressant à citer.

A Pittsburgh, on avait constaté qu'une conduite de 0,203 m de diamètre intérieur et d'une longueur de 9 975 m présentait, par suite de dépôts en forme de tubercules, une perte de pression et de débit très importante.

Des essais préalables démontrèrent qu'on ne pouvait attribuer ces faits à des fuites. La conduite était en service depuis quatorze ans et c'était depuis cinq ou six ans que la pression avait diminué peu à peu jusqu'à devenir inférieure de 2,5 kg à la pression primitive.

Des mesures piézométriques permirent de constater que la perte de pression était à peu près uniforme dans toute la longueur et qu'elle était de 2,41 m, ce qui correspondait à une vitesse de 2,074 m par seconde, alors que la vitesse réelle de débit ne dépassait pas 0,741 par seconde.

Au cours des essais dont il vient d'être parlé, on reconnut que la pa-

roi intérieure des tuyaux était recouverte d'une croûte de dépôts qui réduisait le diamètre à environ 0,191 m.

Comme on ne voyait aucun moyen de rétablir le débit primitif autre que l'enlèvement de cette croûte, on résolut d'y procéder sans retard.

La conduite en question servant à l'alimentation d'un quartier important, il était impossible d'en arrêter complètement le service; on ne pouvait le faire que quelques heures par jour, de sorte que le travail qui, autrement, n'aurait demandé que deux ou trois jours, prit une semaine entière. On employa un contremaître, un ajusteur et sept ouvriers.

On commença par couper la conduite à son origine et on lui ajusta une pièce en forme de fourche, dont une des branches devait servir à l'introduction de l'appareil de nettoyage. A des distances de 120 à 360 m suivant les dispositions locales, on inséra dans la conduite des pièces analogues d'une des branches desquelles partait un bout de tuyau pour conduire l'eau à une bouche d'égout voisine. Ces branches pouvaient recevoir à leur extrémité un couvercle fixé par des boulons, de manière à permettre de remettre la conduite en fonction très rapidement en cas de besoin.

Les choses ainsi disposées, on introduisit à l'origine de la conduite un flotteur portant un fil métallique et on fit arriver l'eau qui chassa le flotteur à l'ouverture suivante; on le retira et on substitua au fil un câble métallique, de 9 mm de diamètre, auquel on attacha l'appareil de nettoyage qu'on tirait dans les tuyaux au moyen d'un treuil mû par un homme, et la pression de l'eau opérait le refoulement de l'outil qui grattait la croûte de dépôts sur son passage. On répétait l'opération autant qu'il était nécessaire, et on nettoyait ainsi toutes les parties de la conduite.

Voici quelques chiffres sur la marche de l'opération : il fallait trois minutes pour faire passer le flotteur sur une longueur de 215,50 m; trente-huit pour passer le câble métallique et quarante-huit pour faire passer l'outil à nettoyer sur la même longueur.

On fit des essais au compteur et au manomètre pour avoir le débit et la pression avant et après le nettoyage. Voici les résultats :

	Avant.	Après.
Diamètre des tuyaux.	0,191 m	0,203 m
Perte de charge par 100 m	2,41	4,95
Vitesse moyenne pour 5,4 kg de pression	1,616	3,141
Débit par minute	1 387	3 078
Accroissement 0/0 du débit. . . .	—	121
Pression à l'hydrante : 19	3,71	4,26
— — 7	4,76	6,60
— — 8	5,47	7,38

Le volume des dépôts provenant du nettoyage des parois des tuyaux sur une longueur de 216,50 m fut trouvé de 1,150 m³, ce qui correspond à un chiffre de 5,31 dm³ par mètre courant et à une épaisseur moyenne de 8,1 mm.

La croûte était dure et rugueuse et son épaisseur variait de 3 à 9 mm. On retira des tuyaux deux masses de plomb, dont une pesait environ 20 kg provenant de la confection des joints; ce plomb avait pénétré dans l'intérieur à cause de l'insuffisance à un endroit de la garniture en chanvre et fit éprouver quelque difficulté au passage de l'outil de nettoyage.

Les dépenses pour l'opération de l'enlèvement des dépôts, y compris les matières, la main-d'œuvre et les travaux de fouille, de dépavage et de repavage, dépenses à la charge de l'entrepreneur, se sont élevées à 4,10 f par mètre courant.

La ville n'a eu à fournir qu'un agent chargé de manœuvrer les vannes et de prévenir les abonnés de la durée des arrêts de l'eau.

Gustave Zeuner. — Nous apprenons la mort d'une personnalité dont le nom était universellement connu dans le monde savant et dans l'enseignement technique, le professeur Zeuner, décédé à Dresde à l'âge de 79 ans, le 17 octobre dernier.

Gustave-Antoine Zeuner était né en 1829, à Chemnitz, en Saxe; il avait fait ses études à l'Académie des Mines de Freyberg, où il devait revenir bientôt en qualité de professeur. A l'ouverture de l'École polytechnique de Zurich en 1855, il y entra comme professeur de mécanique et de construction de machines et en fut directeur de 1865 à 1867. On peut faire remarquer, à ce propos, qu'avec Zeuner disparait le dernier survivant des professeurs de la fondation de cette école.

En 1871, Zeuner entra à l'École de Freyberg comme professeur de mécanique et d'exploitation des mines et, en 1875, il fut appelé à Dresde pour présider à la transformation en école technique supérieure de l'ancienne École polytechnique de cette ville; il en fut nommé recteur en 1890, et s'était retiré depuis quelques années pour raisons de santé.

En dehors du professorat, Zeuner a joué un rôle important comme écrivain technique. Il fonda, vers 1850, la revue *Civil Ingenieur*, avec Weissbach et Bornemann et y collabora d'une manière assidue jusqu'en 1857. Son grand ouvrage *Schiebersteuerungen*, sur les distributions, parut en 1858 et fut traduit dans presque toutes les langues; la traduction française de Debize et Merijot est extrêmement répandue. En 1859, Zeuner fit paraître le premier volume de son *Grundzuge der Mechanischen Warmetheorie*, dont la traduction française fut donnée par G.-A. Hirn dans son *Exposition analytique et expérimentale de la théorie mécanique de la chaleur*. Une seconde édition entièrement refondue a été traduite en français par Arnthan et Cazin en 1869. Zeuner fit paraître en 1900 un nouvel ouvrage sous le titre de *Technische Thermodynamik* traitant plus particulièrement des applications de cette science; on lui doit aussi une théorie des turbines parue en 1899; nous ne parlons pas ici de quantités de mémoires parus dans les revues scientifiques.

L'influence de Zeuner a été réelle, tant dans l'industrie mécanique que dans l'enseignement technique et, à ce double point de vue, nous avons pensé qu'il était nécessaire de lui consacrer un souvenir dans nos Bulletins.

Le trafic du Gothard. — Avant la construction de la ligne du Gothard, la diligence transportait, entre Fluelen et Bellinzona, environ 70 000 voyageurs par an. Dès l'ouverture du chemin de fer, le chiffre s'éleva au triple par mois, soit trente-six fois pour l'année.

Le transport des marchandises prit, dès le début, un développement considérable, contrairement à ce qui s'est passé au Simplon où le premier exercice a donné, dans cette classe du trafic, des résultats assez médiocres.

Le mouvement sur la ligne du Gothard, tant pour les voyageurs que pour les marchandises, peut s'apprécier par les chiffres suivants :

Années.	Voyageurs-kilomètre.	Marchandises-kilomètre	Recette kilométrique.
1883	45 000 000	88 000 000	39 600
1890	63 000 000	105 000 000	49 600
1895	77 000 000	127 000 000	61 700
1900	139 000 000	139 000 000	73 000
1905	166 000 000	178 000 000	88 000

En 1895, il a été transporté 1 624 000 voyageurs et 825 000 t de marchandises; en 1900, 2 636 000 voyageurs et 978 000 t de marchandises et enfin, en 1905, 3 333 000 voyageurs et 1 248 000 t de marchandises.

Le nombre de locomotives a à peu près doublé de 1883 à 1905 et celui des wagons a passé, dans ces dernières année, de 1 323 à 1 752.

Extraction de l'hydrogène du gaz à l'eau. — La question de la production industrielle de l'hydrogène a pris une assez grande importance en présence de certaines applications de ce gaz, telles que la soudure autogène, le gonflement des ballons, le travail des métaux, etc.

Le procédé ordinaire de préparation est toujours basé sur l'action des acides sur le fer: on a proposé toutefois récemment d'employer la réaction des hydrates alcalins sur l'aluminium. On trouvera des indications sur cette méthode dans la Chronique de mars 1905, page 477.

D'après une communication du professeur A. Frank à la réunion des naturalistes allemands, à Dresde, en septembre 1907, ces procédés sont coûteux et présentent des difficultés pratiques, et il propose d'extraire l'hydrogène du gaz à l'eau dont la composition est, comme on sait, la suivante ;

Hydrogène	50
Oxyde de carbone	40
Acide carbonique	5
Azote	4,5
Oxygène	0,5
	100

On suppose que les autres gaz, d'ailleurs en faible proportion, contenus dans le gaz à l'eau ont été éliminés.

Fritschi et Beaufils avaient proposé d'obtenir l'hydrogène pur contenu dans le gaz à l'eau, en absorbant l'oxyde de carbone par le chlorure de cuivre, mais leurs essais ont été infructueux du fait que cet absorbant n'agit que d'une façon incomplète, de sorte que le gaz obtenu ne contient pas plus de 80 0/0 d'hydrogène; il y a là un inconvénient sérieux pour l'emploi au gonflement des aérostats, lequel exige un gaz aussi pur que possible pour avoir la force ascensionnelle maxima.

Le professeur Frank croit avoir résolu le problème en utilisant la propriété que possède le carbure de calcium d'absorber l'oxyde de carbone et l'acide carbonique à une température modérée. De plus, dans ces conditions, l'azote est fixé et on obtient de l'hydrogène à 99 et 99,7 0/0 avec de faibles traces de méthane et d'azote.

Les appareils nécessaires pour cette préparation ne sont pas compliqués; il suffit de disposer d'un gazogène alimenté avec du charbon de bois pour produire le gaz à l'eau et d'une cornue remplie de carbure de calcium réduit en poudre. L'installation, dans une forteresse assiégée, d'une station aérostatique consommant journellement 2 000 m³ de gaz hydrogène n'exigerait qu'un appareil de ce genre.

Pour rendre la préparation du gaz aussi économique que possible, l'auteur propose de faire précéder l'épuration par un lavage au chlorure de cuivre et de se servir du carbure de calcium pour achever l'opération.

Il a récemment, avec la collaboration du professeur Linde, installé à Höllriegelreuth un appareil avec lequel il a réussi à éliminer du gaz à l'eau l'oxyde de carbone sous forme liquide au moyen de la compression et du refroidissement avant l'absorption de l'acide carbonique.

L'oxyde de carbone ainsi obtenu peut servir à l'alimentation de moteurs à gaz servant à produire la compression; on opère ainsi dans les conditions économiques les plus favorables.

L'appareil d'essai permet d'obtenir 10 m³ d'hydrogène à l'heure. Nous empruntons les renseignements précédents à l'*Industria*.

COMPTES RENDUS

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES

3e fascicule de 1907.

Paroles prononcées aux obsèques de M. A. Debauve, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, par M. Kleine, Inspecteur général, Directeur de l'École nationale des Ponts et Chaussées.

Voies navigables de la Grande-Bretagne et de l'Irlande, par M. le baron Quinette de Rochemont, Inspecteur général des Ponts et Chaussées.

Après un court historique sur l'origine du développement des voies navigables de l'Angleterre, de l'Écosse et de l'Irlande, lequel date de la fin du xviie siècle, l'auteur entre dans l'examen de la situation actuelle. Ce qui caractérise ce réseau, c'est une absence complète de centralisation et d'unité; les gabarits sont très variables, de sorte que les transports à distance ne peuvent être effectués que sur des bateaux ayant des dimensions leur permettant de passer dans les voies ayant le plus petit gabarit.

Aussi le trafic est-il assez médiocre, d'autant plus que les Compagnies de chemins de fer qui ont acquis ou qui contrôlent des canaux ne font généralement rien pour en développer le trafic, souvent même elles l'entravent.

On peut estimer la longueur totale des voies navigables, en 1898, à 6 287 km dont 1 832 km dépendaient des chemins de fer. Le trafic total s'est élevé à 39 358 000 t, dont 6 millions pour les canaux dépendant des chemins de fer.

La situation actuelle présente donc des inconvénients sérieux; aussi, sous la pression de l'opinion publique, le Gouvernement a-t-il constitué une Commission d'enquête pour étudier les moyens d'amélioration de la navigation intérieure.

La note se termine par des détails sur les accessoires des voies de navigation, tels que chemins de halage, écluses, plans inclinés, ascenseurs, ponts, souterrains, alimentation, halage, etc. On trouve aussi quelques détails sur la partie financière, tarifs, recettes et dépenses.

Pont suspendu à poutres raidissantes et à articulation médiane, par M. Gisclard, ancien officier supérieur du génie.

Le principe du système consiste, comme le titre l'indique, d'ailleurs, à munir un pont suspendu de poutres raidissantes en forme de treillis

et à articuler ces poutres en leur milieu. L'auteur déjà, dans un mémoire inséré aux Annales en 1900, a donné la justification de ces dispositions. Il développe, dans cette nouvelle note, les calculs d'établissement d'un ouvrage de ce système.

Le pont suspendu de Brooklyn rentre dans la disposition générale des ponts suspendus à poutres rigides interrompues dans le milieu de la portée. La note expose les causes de l'accident qui s'y est produit en juillet 1901, accident qui tient à ce que les constructeurs ont commis dans la construction des erreurs sérieuses si bien reconnues aujourd'hui qu'on a renoneé à ce type spécial d'ouvrages ; une des plus graves est l'absence de la liaison des deux parties des poutres raidissantes par une articulation comme celle qu'emploie l'auteur de cette note, liaison que ne remplacent pas les haubans employés pour soutenir les poutres,

Alimentation de la ville de Tarare. — Barrage de la Turdine, par M. Pascalon, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Les travaux effectués en vue de l'alimentation de la ville de Tarare consistent en un barrage à travers la vallée de la Turdine, destiné à retenir les eaux en formant un réservoir de 750 000 m³ de capacité et en autres travaux dont les principaux sont les canalisations nécessaires pour l'adduction des eaux.

Le barrage a 126 m de longueur au sommet et 50 m à la base; il est en courbe de 252 m de rayon; sa hauteur est de 25 m; la largeur de 20 m à la base et 4 m au sommet. La longueur totale des canalisations est de 9 835 m dont 2 465 m en tuyaux de 0,45 m de diamètre, 950 m en tuyaux de 0,40 m, 1 364 m en diamètres de 0,25 à 0,15 m et, enfin, 5 056 m en diamètres de 0,10 et 0.08 m.

La dépense totale s'est élevée à 685 000 f, ce qui fait ressortir le coût à 0,90 f par mètre cube approvisionné. La canalisation a coûté 175 717 f.

Visite de l'Association des Ingénieurs des Ponts et Chaussées et des Mines **au port de Gênes,** en septembre 1906.

Ce compte rendu vise surtout les travaux d'agrandissement projetés, consistant dans la création du nouveau bassin Victor-Emmanuel-III, le prolongement du môle Galliera, une extension des voies ferrées et l'assainissement du port. On espère arriver, au moyen de ses travaux, à un trafic annuel de 10 millions de tonnes de marchandises, au lieu de 5 500 000 t, chiffre de 1904. Le coût est évalué à 45 millions de francs environ.

Les équations des lois empiriques de l'hydraulique fluviale, par M. Fargue, Inspecteur général des Ponts et Chaussées en retraite.

On admet aujourd'hui, à la suite de nombreuses observations, que, dans une rivière navigable à cours libre et à fond mobile, la profondeur du chenal dépend de la forme des rives. Mais on est moins fixé sur la nature de cette loi et de la relation qui existe entre les sinuosités du tracé et la profondeur du chenal. L'auteur a été amené, par des considérations

basées à la fois sur des données expérimentales et sur des raisonnements analytiques, à penser que, avec un tracé rationnel, la courbure serait à peu près proportionnelle à la première dérivée de la profondeur. La présente note est consacrée à l'examen des faits sur lesquels a été fondée la *loi de l'écart* et a établi ensuite les équations qui condensent, en langage algébrique, les lois empiriques énoncées en langage ordinaire dans une première étude de l'auteur remontant à 1868.

Débit d'un orifice circulaire. — Étude du degré d'approximation d'une méthode nouvelle employée par les Ingénieurs pour l'évaluation de ce débit, par M. Casimir Monteil, Répétiteur de mécanique appliquée à l'École Centrale.

Il s'agit d'une simplification à la formule du débit exact Q ; pour éviter les difficultés de l'intégration contenue dans l'expression exacte, on emploie, pour le calcul du débit, une méthode approchée qui consiste à supposer que tous les filets ont, dans la section contractée, une vitesse égale à celle du filet central. La note a pour objet de rechercher, pour les diverses valeurs de la charge h et du rayon R de l'orifice, le degré d'approximation de la valeur approchée Qm.

La conclusion, fort importante, est qu'on est toujours sûr, depuis l'orifice tangent au bord supérieur, soit $h = R$, jusqu'à l'orifice de profondeur quelconque, d'obtenir, par la méthode approchée, un résultat trop fort, mais tel que le débit exact soit au moins les 0,96 du débit ainsi trouvé.

Note sur les **travaux de réfection du tablier du pont des Saint-Pères,** par M. Pigeand, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Ces travaux ont consisté dans le remplacement du tablier en bois par un tablier métallique formé de longerons et d'entretoises supportant des tôles embouties sous la chaussée et des tôles plates sous les trottoirs et dans le remplacement du garde-corps; on a profité de l'occasion pour porter la largeur des trottoirs de 2,50 m à 3 m, au moyen de consoles disposées au droit de chaque entretoise. La substitution d'un plancher rigide en métal à l'ancien plancher en bois a permis de réaliser une amélioration très sensible au point de vue des vibrations, qui étaient précédemment presque intolérables.

Ces travaux, exécutés du 1er juillet au 27 septembre 1905, ont coûté 220 000 f.

Bulletin des accidents d'appareils à vapeur survenus pendant l'année 1905.

Ce Bulletin a déjà paru dans les *Annales des Mines* et nous en avons parlé dans le numéro d'avril 1907, page 616.

Mannheim. — Développements successifs de ses ports et de ses gares, par M. Goupil, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

Mannheim a été le siège d'un développement extraordinaire que les Allemands comparent volontiers à celui de Chicago; on peut s'en faire

une idée par ce seul fait que les droits de douanes sur les principales marchandises importées dépassent le chiffre de 33 millions de francs. Les ports de Mannheim ont un développement de rives de 40 km, avec 149 gares, 20 chantiers et 6 ports pour le chargement des charbons. Elles enserrent 579 ha de terrains occupés par 107 chantiers et 106 fabriques. Les quatre maisons de transports fluviaux les plus importantes disposent de 54 remorqueurs et 227 bateaux, dont la capacité va jusqu'à 2 000 t.

Le transport des blés est un des articles les plus importants pour Mannheim et, comme l'ouverture des tunnels de Saint-Gothard et du Simplon a porté des coups sérieux au transit par Mannheim, les Administrations des Chemins de fer prussiens, hessois et badois ont dû se préoccuper de donner aux communications par voies ferrées le maximum de facilités; au nombre des mesures prises dans ce but figure au premier rang l'établissement d'une gare de triage d'une importance considérable.

Note sur l'**influence de la barbotine** lors de la reprise des constructions en béton de ciment armé interrompues, par M. Mesnager, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

On sait que souvent, lorsqu'on reprend le travail dans des constructions en ciment armé après une interruption, on fait passer sur le béton ancien un coulis de barbotine. Les avis sont partagés sur l'avantage de cette méthode; l'auteur a eu recours à l'expérience et conclut que l'emploi de la barbotine, qui équivaut à une augmentation du dosage du béton sur l'une des faces de la reprise, améliore l'adhérence normale; elle est plus que doublée pour les reprises faites sur béton battu peu énergiquement et relativement frais et beaucoup moins augmentée sur béton ancien et battu très fortement.

ANNALES DES MINES

4e livraison de 1907.

Résultats de la mission géologique et minière du Yunnam méridional. 5 septembre 1903-Janvier 1904.

Cette note comprend cinq parties :

1° Note sur la géologie et les mines de la région comprise entre Lao-Kay et Yunnam-Sen, par M. H. Lantenois;

2° Note sur la géologie de la région de Po-Si, Lou-Nan, Mi-Leu, Tou-Tra, A-Mi-Tcheou, par M. Cornillon ;

3° Résultats paléontologiques, par M. Mansuy ;

4° Note sur quelques empreintes végétales des gites de charbon du Yunnam méridional, par M. R. Zeiller ;

5° Note sur quelques échantillons de plantes tertiaires du Yunnam, par M. L. Laurent.

5e livraison de 1907.

Les chemins de fer américains. — Matériel et traction, par M. Marcel Japiot, Ingénieur des Mines *(suite et fin)*.

Cette quatrième partie est consacrée à la traction ; elle est divisée en deux : dépôts et service des machines. Dans la première partie l'auteur étudie l'organisation des dépôts, leur disposition et leurs annexes, le combustible, l'alimentation, l'épuration des eaux, les remises de machines, les reparations dans les dépôts, le personnel de ceux-ci, et, dans la seconde partie, sont traitées les questions relatives aux équipes, au parcours des machines, aux frais de traction, à la vitesse des trains, etc.

Au moment où on entend émettre les avis les plus contradictoires sur les vitesses des trains américains comparativement à celles des trains européens, il est intéressant d'avoir l'opinion d'une personne aussi autorisée que M. Japiot. Voici ses conclusions : Malgré les doutes que l'on peut émettre sur la précision de certains chiffres, il n'en reste pas moins établi que des parcours très remarquables ont été effectués exceptionnellement sur les principaux réseaux de l'Est des Etats-Unis : à notre avis, le record le plus intéressant est celui du train spécial du Lake Shore and Michigan Southern Railroad parcourant 845 km à la vitesse commerciale de 112 km à l'heure.

En ce qui concerne les vitesses commerciales (et surtout les vitesses moyennes de pleine marche) des trains *réguliers* de grand parcours, les rapides européens ne le cèdent en rien aux trains de luxe américains.

Bulletin des travaux de chimie exécutés en 1905, par les Ingénieurs des mines dans les laboratoires départementaux.

6e livraison de 1907.

Note sur **le minerai de fer silurien de Basse-Normandie**, par M. Ch. E. Heurteau, Ingénieur des Mines.

L'auteur s'est proposé, dans ce travail, de résumer les connaissances acquises sur le minerai de fer silurien de Normandie, exploité dans le Calvados, l'Orne et la Manche, de montrer son étendue, sa consistance et sa répartition entre les concessions déjà créées, d'indiquer les travaux qui y ont été entrepris depuis trente ans et singulièrement développés depuis une dizaine d'années, enfin d'examiner les conditions économiques de l'emploi de ce minerai au point de vue, soit de l'exportation, soit de son emploi dans les forges du Nord de la France.

Il est intéressant d'indiquer à ce propoos que, en 1906, il a été exporté par Caen 237 866 t de ces minerais, dont 106 769 t à destination de la Grande-Bretagne et 131 101 à destination de la Westphalie, par Rotterdam ; ce dernier port est devenu un des marchés les plus importants de minerai de fer. Les usines métallurgiques du nord de la France n'emploient presque plus de minerai du Calvados, mais les Sociétés de

Denain et d'Anzin et des Aciéries de France ont mis en valeur les gisements de l'Orne et y calcinent les minerais carbonatés qui sont ensuite envoyés aux usines. Cette production parait devoir se développer. On a agité la question de la création de hauts fourneaux à Caen, mais on a reculé devant l'incertitude de la régularité de l'approvisionnement de minerai dont la quantité devrait atteindre 70 000 f par an pour un seul fourneau produisant 100 t de fonte par vingt-quatre heures; le prix du combustible ne paraissait pas d'ailleurs prohibitif.

7e livraison 1907.

Étude sur **l'industrie du fer dans le Nord des Ardennes françaises,** par M. Pol Dunaime, Ingénieur civil des Mines.

Cette étude très développée débute par un historique de la fabrication de la fonte et du fer dans les Ardennes qui parait avoir commencé vers l'an 1500. Il est curieux de noter que, alors qu'il avait été construit 6 hauts fourneaux au xviie siècle et 7 autres au xviiie et qu'il en existait encore 10 en 1866, il n'y en avait déjà plus que 4 en marche en 1869. Le premier laminoir à tôle dans les Ardennes date de 1790.

La note dont nous nous occupons passe sucessivement en revue : les usines à fer et tôleries, les forges, la boulonnerie, les articles de voiture, la fonderie, en insistant tout particulièrement sur la fabrication des tuyaux dont, comme on sait, l'usine d'Aubrives s'est fait une spécialité.

SOCIÉTÉ DE L'INDUSTRIE MINÉRALE

Juillet 1907.

District de Paris.

Réunion du 6 juin 1907.

Communication de M. le Dr Tissot, sur **un appareil respiratoire,** pour les atmosphères irrespirables..— Étude des conditions physiologiques nécessaires.

La question des appareils respiratoires est très délicate et ces appareils doivent, pour posséder la première des qualités, celle d'être inoffensifs pour ceux qui s'en servent, satisfaire à diverses conditions dont les principales sont de supprimer toute résistance au passage de l'air inspiré ou expiré et d'éviter l'existence dans l'appareil d'une pression sensible et toujours gênante pour le sujet; ce sont là les conditions d'ordre mécanique. Il y en a d'autres dans l'ordre qu'on peut appeler chimique. Ces divers points de vue sont développés dans la note qui passe ensuite à la description de l'appareil réalisé par l'auteur.

Cet appareil se compose d'un appareil nasal à soupapes l'une pour

l'aspiration, l'autre pour l'expiration, d'un régénérateur dans lequel l'acide carbonique expiré est absorbé dans une solution de potasse, d'un sac réservoir à gaz, d'une soupape automatique de sûreté et d'un récipient d'oxygène comprimé muni d'un détendeur.

Avec cet appareil, un homme peut séjourner pendant quatre à cinq heures dans une atmosphère irrespirable en marchant à l'allure de 5 km à l'heure ou pendant 2 1/2 heures en effectuant sans arrêt un travail continu et très fatigant.

Communication de M. Hubert Joris, sur **la lampe à benzine**, avec rallumeur et alimentation d'air inférieure.

Cette communication est une réponse à la note présentée par M. J. Marsaut, dans la réunion du 21 mars dernier, dans le but de réfuter les critiques adressées par cet ingénieur au principe même de l'alimentation d'air inférieure et du rallumage intérieur. L'auteur conclut qu'après mûr examen des faits et en tenant pleinement compte des résultats de toutes les expériences faites à ce jour, on peut affirmer que le système de rallumage intérieur par pois de phosphore sur bande paraffinée et celui de l'alimentation par le bas tel qu'il est réalisé actuellement, sortent absolument indemnes du douloureux accident survenu en février dernier aux mines de Liévin, ainsi qu'il ressort des conclusions de la Commission officielle d'enquête.

Aout 1907.

District de Saint-Étienne.

Réunion du 6 juillet 1907.

Communication de M. Viannay, sur **les avantages des turbo-alternateurs** employés pour actionner les machines d'extraction électriques.

La conclusion que l'auteur tire de l'étude de plusieurs machines d'extraction est que : en somme, si on élimine le système Ilgner, bon mais compliqué, on peut dire que la machine d'extraction électrique est beaucoup plus simple que la vieille machine à piston et réalise une économie considérable de vapeur et d'huile, tout en supprimant tous les mécanismes et toutes les réparations et en réduisant au minimum les bâtiments de la mine.

Ces avantages ont tellement frappé les esprits que certaines mines allemandes n'hésitent pas à remplacer leurs machines d'extraction à vapeur, même récentes, par des machines électriques. Les commandes affluent d'ailleurs chez les grandes Sociétés électriques allemandes, la seule A. E. G. a déjà construit à ce jour 32 machines d'extraction électriques dont 26 à courants triphasés directs, 2 à courants continus directs et 4 du système Ilgner.

La machine d'extraction électrique est devenue un type absolument industriel. Elle est, dans la plupart des cas, nettement plus avantageuse

que les machines à vapeur les plus perfectionnées. Les résultats obtenus permettent de prédire que, dans un avenir très prochain, il n'y aura plus aucune voix discordante pour contester cette supériorité.

Dans la discussion qui a suivi cette communication, plusieurs membres ont paru trouver ces conclusions un peu trop absolues. Si on admet que lorsqu'on possède dans une mine une station centrale d'électricité, la supériorité de la machine d'extraction électrique n'est pas douteuse, faut-il aller jusqu'à créer des stations centrales, lorsqu'on n'a pas d'autre raison de le faire, uniquement pour avoir des machines d'extraction électriques? Il est très douteux d'ailleurs que les réparations aux moteurs électriques soient moins coûteuses que celles des moteurs à vapeur.

Communication de M. Morel, sur **l'emploi de la réitération avec les instruments courants** en topographie souterraine.

L'auteur estime que la réitération permet en topographie, d'une manière générale, d'obtenir avec des instruments courants et ordinaires, la plus grande exactitude qu'il soit permis d'atteindre avec des instruments portatifs et, en résumé, d'obtenir une précision ne laissant rien à désirer quant à l'exécution des travaux les plus difficiles.

District de Paris.

Réunion du 27 juin 1907.

Communication de M. Jean Meunier, sur **les propriétés et l'analyse des mélanges gazeux explosifs**, particulièrement des mélanges d'air et d'éther.

La note entre d'abord dans des développements sur les lois des mélanges explosifs, lois appuyées sur des déterminations expérimentales, puis elle considère les conséquences de l'accumulation des vapeurs explosives, accumulation qui a lieu dans les parties basses et près du sol. L'auteur se sert pour apprécier la composition d'un tel mélange et les dangers qu'il présente, d'une pipette spécialement étudiée à cet effet. Il s'agit principalement ici des mélanges d'air et de vapeurs d'éther.

Communication de M. de Lameigné, sur **le pétrole en Roumanie.**

La première partie de cette communication est consacrée à la question géologique et à l'étude des gisements de pétrole. La seconde partie s'occupe de la question industrielle. La production du pétrole s'est élevée en Roumanie en 1906, à 887 000 t d'une valeur de 40 millions de francs; actuellement elle s'élève à environ 100 000 t par mois. Il a été exporté, en 1906, 71 000 t de benzine, 196 000 de pétrole lampant et 53 000 de pétrole brut. L'exploitation est entravée par la difficulté des transports et aussi par l'insécurité de la propriété des concessions, surtout pour les étrangers.

District de Paris.

Réunion du 11 juillet 1907.

Discussion sur la communication de M. le docteur Tissot, sur **les appareils respiratoires pour les atmosphères irrespirables.**

Dans cette discussion qui a pris un assez grand développement, il a été présenté quelques objections aux dispositions de l'appareil de M. Tissot, objections auxquelles l'auteur a répondu à son tour. Il nous serait difficile d'entrer dans des détails à ce sujet.

Communication de M. Beuret, sur **le fonçage des puits de Sancy.**

Étude minière sur l'île de Java, par M. Ratel.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS

N° 37. — *14 septembre 1907.*

Épreuves sur de l'acier trempé pour la fabrication des billes, par R. Stribeck.

Exposition internationale de Bordeaux en 1907, par W. Kaemmerer *(fin)*.

Expériences sur un moteur à gaz au point de vue de l'influence de la composition du mélange, par A. Nägel *(fin)*.

Groupe de Berlin. — Principes de la construction des voitures automobiles. — Introduction de la traction électrique sur les chemins de fer métropolitain, de ceinture et de banlieue, à Berlin.

Groupe de Hanovre. — La canalisation de Linden.

Bibliographie. — Principes de la théorie de la chaleur, par J. J. Weyrauch. — Combustible, chauffage et chaudières à vapeur; conduite et contrôle, par A. Dosch.

Revue. — Machine à vapeur à bâtis fermé de la fabrique de machines précédemment Brand et Lhuillier, à Brünn. — Construction du pont sur le Rhin, à Cologne. — Grue flottante de la fabrique de machines de Duisburg.

N° 38. — *21 septembre 1907.*

Nouveautés dans la construction des ascenseurs Paternoster, par Ad. von Ernst.

Trains dentés pour changement de vitesse dans les machines-outils, par F. Adler.
Épreuves sur de l'acier trempé pour la fabrication des billes, par R. Stribeck *(suite)*.
Résistance des barres à axe central courbe, par C. Pfleiderer.

Groupe de Hanovre. — Comparaison entre le gaz et l'électricité comme éclairage.

Groupe de Carlsruhe. — Nouvelle construction des appareils à numéroter. — Moyens de dissiper le brouillard.

Groupe du Rhin inférieur. — Épuration d'eau d'alimentation. — Questions métallurgiques.

Revue. — Régulateur de température pour surchauffeurs de Jankowsky. — Presses hydraulique pour l'abatage de la houille. — Moteurs à gaz avec gazogène à aspiration pour la propulsion des navires.

N° 39. — *28 septembre 1907.*

Nouveaux basculeurs pour le déchargement des wagons, par G. von Hauffstengel.
Trains dentés pour machines-outils, par F. Adler *(suite)*.
Épreuves sur de l'acier trempé pour la fabrication des billes, par R. Stribeck *(fin)*.
Le paquebot à turbines *Lusitania* de la Compagnie Cunard, par W. Kaemmerer.

Groupe de Carlsruhe. — Les machines motrices et les machines-outils dans l'industrie.

Bibliographie. — Les chaudières marines, par W. Mentz.

Revue. — Explosions de chaudières dans l'empire allemand en 1906. — Locomotive 3/5 à vapeur surchauffée par Krauss et Cie, pour les chemins de fer de Bosnie.

N° 40. — *5 octobre 1907.*

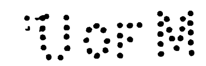
Nouveaux dispositifs de sûreté pour les machines à vapeur d'extraction, par J. Joversen.
Le matériel de chemin de fer à l'Exposition de Milan en 1906, par Metzeltin *(suite)*.
Le jaugeage pour les automobiles, par A. Heller.
Influence de la composition du mélange dans les moteurs à gaz, par G. Meer.

Groupe de Franconie et du Haut-Palatinat. — Nouvelles lampes à vapeur de mercure de la A. E. G.

Groupe de Mannheim. — Les barrages. — Emploi des houilles anglaises dans la fabrication du gaz.

Groupe de Würtemberg. — Développement de la fabrication des plaques de blindage.

Revue. — La chute du pont de Québec. — Montage d'un pont en Suède. — Le ballon dirigeable *Zeppelin*.



N° 41. — *12 octobre 1907.*

Le matériel de chemin de fer à l'Exposition de Milan en 1906, par Metzeltin *(suite).*

Principes du calcul des conduites d'eau, par E. Sonne.

Trains dentés pour machines-outils, par F. Adler *(fin).*

Procédé pour utiliser le travail produit dans les essais des moteurs, par E. Kaufmann.

Groupe de Breslau. — Nature et marques du crédit. — La Reichsbank et son rôle.

Bibliographie. — Les machines agricoles, par E. Wrobel.

Revue. — Développement de l'emploi des automobiles dans l'armée prussienne. — Turbines doubles pour hautes chutes. — Établissement d'une usine hydraulique à l'intérieur du mur de retenue d'un barrage. — Écrasement d'un foyer ondulé de chaudière. — Nouvelle chaîne de transmission. — Le ballon dirigeable *Zeppelin.*

N° 42. — *19 octobre 1907.*

Automobile postale pour les chemins de fer de l'État italien, par A. Doeppner.

Variation de l'utilisation de la chaleur dans les moteurs à gaz avec les proportions du mélange, par A. Kutzbach.

Les nouvelles machines de l'industrie textile dans les dernières expositions, par G. Rohn *(suite).*

Poutres droites continues reposant sur des appuis élastiques, par L. Vianello.

Recherches sur la rupture des tubes en cuivre, par C. Bach.

Étude des turbo-compresseurs au point de vue thermodynamique, par W. Schule.

Le cinquantenaire de la fondation du groupe de la Haute-Silésie de l'Association des Ingénieurs allemands. — Développement des installations de force motrice dans la Haute-Silésie.

Bibliographie. — Cinquante années de développement industriel dans la Haute-Silésie, par C. Matschos.

Revue. — Vapeur transbordeur de wagons *Lucia Carbo.* — Machine à fraiser universelle. — Grue tournante et roulante. — Essais du paquebot *Lusitania.*

N° 43. — *26 octobre 1907.*

Développement des excavateurs à cuiller, par R. Richter.

Recherches sur les résistances propres d'une locomotive à trois essieux accouplés, par R. Sanzin.

Recherches sur la résistance des cylindres creux avec ou sans nervures, par C. Bach.

Les aubages dans les turbines Francis, par K. Körner.

Méthode de Heyland pour la régularisation des moteurs d'induction, par Fr. G. Wellmer.

Groupe de Cologne. — Fabrication des arbres de transmission.

Bibliographie. — Manuel des sciences de l'Ingénieur, par A. Goering et M. Oder.

Revue. — Manipulation du combustible à la station de la Edison Electric Illuminating Company à New-York. — Installation d'épuisement à la mine Cleophas. — Moteur à benzine de 500 ch du *Northland.* — Paquebots de plus de 20000 tx de jauge.

N° 44. — *2 novembre 1907.*

Emploi d'appareils mécaniques dans les usines métallurgiques, par Fr. Frölich *(suite).*

Moyens d'arrêt et de régularisation dans les machines à vapeur d'extraction, par Grunewald.

Locomotives du Great Central Railway, d'Angleterre, par Ch. S. Lake.

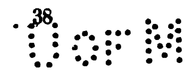
Lecture des courbes de fonctionnement des machines à courant alternatif, par M. Zipp.

Groupe de Dresde. — Procédés de recherches métallographiques.

Groupe du Palatinat-Saarbruck. — État actuel de l'emploi de l'air comprimé.

Revue. — Allumage électrique dans les moteurs à gaz. — Construction d'un barrage au moyen d'un transport aérien. — Les chemins de fer à crémaillère, système Abt.

Pour la Chronique et les Comptes rendus :
A. Mallet.



BIBLIOGRAPHIE

Ire SECTION

Les Grandes Eaux de Versailles. Installations mécaniques. étangs artificiels, description des fontaines et de leurs origines, par L.-A. BARBET, avec une préface par Henry ROUJON, secrétaire perpétuel de l'Académie des Beaux-Arts (1).

Ce bel ouvrage intéresse à la fois l'artiste et l'Ingénieur. M. Barbet. dans cette monographie consciencieuse des grandes eaux de Versailles, examine, en effet, successivement le côté technique et le côté artistique de son sujet. Les installations mécaniques et les étangs artificiels y sont étudiés avec tous les les détails nécessaires, y compris les nouvelles machines établies à Marly de 1900 à 1906. Mais, en outre, l'auteur fait l'historique complet des grandes eaux de Versailles et donne de magnifiques reproductions des belles fontaines qui y ont été établies à diverses époques. Cette intéressante publication, que rehausse une préface de M. Henry Roujon, est une heureuse réunion de documents présentés sous une forme séduisante.

J. G.

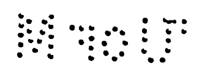
Amélioration de l'embouchure des grands fleuves débouchant dans les mers sans marée. Rapport de M. V. TIMONOFF. professeur à l'Institut des Voies de Communication, à Saint-Pétersbourg (2).

Après avoir reproduit les conclusions adoptées par les congrès de navigation de 1892 et de 1900 sur la question des embouchures des fleuves sans marée et sur l'amélioration des fleuves par les dragages. l'auteur examine successivement la situation des embouchures de la Néva, du Volga, du Dniépre et du Boug, du Danube et du Mississipi. Les idées générales qu'il a dégagées motivent ses conclusions sur la méthode de créer un chenal, sur le choix du bras à améliorer, sur les instruments de dragages, sur les précautions à prendre au sommet du delta et aux bras voisins. sur la protection du chenal et sur le programme et les moyens d'actions.

J. G.

(1) In-8°, 300 × 215 de IV-358 p. avec 312 fig. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 49, quai des Grands-Augustins, 1907. Prix : broché, 25 f.

(2) In-8°, 250 × 170 de 36 p. avec 2 pl. Saint-Pétersbourg, 1907.



Formules, tables et renseignements usuels. *Partie pratique de l'Aide-Mémoire des Ingénieurs, architectes, entrepreneurs, agents voyers, dessinateurs, etc.*, par J. Claudel, Ingénieur. Onzième édition entièrement refondue, revue et corrigée sous la direction de G. Dariés, ingénieur de la Ville de Paris (1).

Le second et dernier volume de la partie pratique de l'Aide-Mémoire, complètement remis à jour, vient de paraître.

Le succès de cet aide-mémoire a conduit les éditeurs à refondre complètement la onzième édition de cet ouvrage. Cet important travail a été fait par M. Dariés, Ingénieur de la Ville de Paris, qui a été aidé dans sa tâche par de nombreux Ingénieurs spécialistes dont la collaboration lui a été précieuse.

L'Aide-Mémoire de Claudel-Dariés est remarquable par la clarté, la précision et surtout par l'emploi des formules usitées dans nos écoles techniques et dans les bureaux de nos ingénieurs. C'est une vaste encyclopédie que les Ingénieurs et les constructeurs auront à consulter journellement.

Par rapport à la précédente, la onzième édition comporte 868 nouvelles figures et 250 pages de texte en plus, avec des modifications importantes. Tous les chapitres ont été revus et complétés, notamment : l'hydraulique, les moteurs hydrauliques, la distribution des eaux, l'électricité, l'éclairage, les machines et les chaudières à vapeur, les turbines à vapeur et à gaz, les routes, les ponts, les chemins de fer, les automobiles, les constructions métalliques, le ciment armé, etc.

J. G.

Souvenirs de neuf congrès de navigation, par F.-B. de Mas, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, en retraite (2).

M. de Mas a assisté à neuf congrès de navigation, tenus à Bruxelles en 1885, à Vienne en 1886, à Francfort-sur-le-Mein en 1888, à Manchester en 1890, à Paris en 1892, à la Haye en 1894, à Bruxelles en 1898, à Paris en 1900 et à Dusseldorf en 1902 ; de ces importantes réunions auxquelles il a pris une part active, cet éminent professeur a gardé de précieux souvenirs qu'il a l'heureuse idée de publier aujourd'hui.

L'auteur met en lumière l'enchaînement des faits ; les circonstances qui ont déterminé la date et le lieu des réunions successives ; les transformations progressives apportées dans la méthode de travail ; les manifestations diverses du mouvement d'opinion qui a abouti à la formation de l'Association Internationale Permanente. Il signale aussi les excursions faites dans un but d'instruction technique, enfin il conte les fêtes données aux congressistes et rappelle les noms des personnalités qui ont contribué à l'organisation et aux succès de ces congrès.

J. G.

(1) Deux forts volumes in-8° de 2300 p., avec plus de 1000 fig. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 49, quai des Grands-Augustins, éditeurs. En souscription. Prix : brochés, 30 f ; reliés, 34 f.

(2) In-8°, 250 × 160 de XVI-267 p. Paris, Ch. Béranger, 15, rue des Saints-Pères, 1907. Prix : broché, 10 f.



Le détroit de Panama. Documents relatifs à la solution parfaite du problème de Panama (détroit libre, large et profond), par Philippe Bunau-Varilla, ancien Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, ancien Ingénieur en chef du Canal de Panama (1885-86), ancien ministre plénipotentiaire de la République de Panama à Washington (1903-1904) (1).

La jonction des deux grands océans a soulevé et soulèvera encore les problèmes politiques, internationaux et économiques les plus graves et les plus complexes, mais ces problèmes sont tous dominés par la question technique. Aussi, M. Ph. Bunau-Varilla, ancien Ingénieur en chef de la Compagnie française du Canal de Panama, a-t-il réuni, dans ce volume, le résultat de ses travaux sur la solution de la question, par un détroit libre, large et profond. M. Bunau-Varilla publie d'abord les résultats des travaux du Gouvernement américain de 1904 à 1907 et les compare avec ceux des travaux de l'ancienne Compagnie française de Panama de 1881 à 1888. On y verra que la solution adoptée par les États-Unis (canal à écluses) est imparfaite et que les travaux marchent avec lenteur.

L'auteur nous donne le texte de ses conférences techniques à la Society of Arts, au Board of Consulting Engineers et au Consulting Board et de ses diverses lettres à M. Roosevelt. Il refute les objections américaines et conclut naturellement en faveur de la réalisation du projet français.

J. G.

Recueil de types de ponts pour routes en ciment armé, par N. de Tedesco, Ingénieur des Arts et Manufactures et V. Forestier, Ingénieur des Arts et Métiers (2).

Cet ouvrage réunit dans une première partie les documents et renseignements nécessaires à l'étude d'un projet de pont-route en ciment armé, en conformité avec la circulaire ministérielle du 20 octobre 1906.

Dans la seconde partie, on trouve tous les calculs relatifs aux hourdis, poutres, appuis et flèches, ainsi que les métrés applicables à huit types de ponts-routes de 4 m à 30 m de portée.

Les huit planches de l'album reproduisent tous les détails d'exécution avec une clarté remarquable.

Présentée par un Ingénieur aussi compétent que M. de Tédesco en cette spécialité, avec la précieuse collaboration de M. V. Forestier, cette étude complète et interprète les instructions ministérielles par des indications qui seront certainement très utiles à tous les Ingénieurs qui s'intéressent aux constructions en ciment armé.

J. G.

(1) In-8°, 255 × 165 de 306 p. avec fig. et pl. Paris, H. Dunod et Pinat, 49, quai des Grands-Augustins, 1907. Prix : broché, 10 f.

(2) In-8°, 255 × 165 de IV-307 p. avec 54 fig. et atlas 320 × 260 de 8 pl. Paris, Ch. Béranger, 15, rue des Saints-Pères, 1907. Prix : 25 f.



Le sol de nos routes et de nos rues, par M. le lieutenant-colonel G. Espitallier (1).

Dans ce mémoire, extrait du Bulletin de mai 1907, de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale, l'auteur montre les efforts faits en ces derniers années pour tenter de lutter contre les effets destructeurs des pneus et pour éviter les graves inconvénients de la circulation intensive des automobiles.

J. G.

IIe SECTION.

Traité général des automobiles à pétrole, par M. Lucien Périssé, Secrétaire de la Commission technique de l'Automobile-Club de France (2).

Tous ceux qui, n'ayant pas pratiqué la construction mécanique des automobiles, ont intérêt à connaitre les conditions d'établissement de ces véhicules, trouveront dans le nouvel ouvrage de M. Lucien Périssé des éléments d'études et des renseignements très bien coordonnés.

Laissant de côté tout ce qui n'a pas encore été sanctionné par la pratique et ne voulant d'ailleurs pas se laisser entraîner dans des développements qu'un tel sujet eût facilement suggérés à un auteur aussi documenté, M. Lucien Périssé n'a parlé avec détails que du moteur à quatre temps.

Nous nous bornerons nous-même à donner un aperçu de ce livre très intéressant en indiquant succinctement le plan de chacune des six parties qui le composent, savoir :

I. — Historique des études sur la résistance au roulement des véhicules. Effet des obstacles. Résistance propre des fusées (roulements à billes). Coefficient de traction. Résistance de l'air. Résistance au démarrage. Dérapage. Stabilité. Puissance des moteurs (formules proposées). Détermination de la puissance nécessaire à un véhicule. Poids des voitures (châssis, carrosserie, chargement). Métaux employés en automobile.

II. — Le moteur à quatre temps (diagramme théorique et diagrammes réels). Désaxement des cylindres. Variation de la puissance et de la consommation avec la vitesse (soupapes d'admission commandées). Équilibrage. Fonctionnement des moteurs à deux, trois, quatre cylindres. Cylindres, pistons, bielles, arbre manivelle, distribution (réglage), carter, carburation, allumage. Refroidissement. Graissage. Freinage par le moteur. Mise en marche automatique.

III. — Les mécanismes. Embrayages (à cônes, à plateaux, cylindriques, à enroulement). Transmissions (par chaîne, par cardan unique

(1) In-4°, 270 × 220 de 22 p. avec 2 fig. Paris, typographie Philippe Renouard, 19, rue des Saints-Pères, 1907.

(2) In-8°, 255 × 165 de IV-503 p. avec 286 fig. Paris, Gauthier-Villars, 55, quai des Grands-Augustins, 1907. Prix : broché, 17,50 f.

longitudinal, par cardans latéraux). Démultiplicateurs. Accouplements élastiques. Changements de vitesse. Poulies extensibles. Pont arrière des voitures à commande par cardan. Différentiel à roues dentées coniques ou à roues dentées droites.

IV. — Châssis proprement dit. Essieux. Direction. Ressorts. Amortisseurs. Roues. Freins. Dispositions spéciales : châssis à six roues, châssis démontables, avant-trains moteurs.

V. — Essais des moteurs (puissance, consommation, endurance). Essais des voitures à la jante. Le laboratoire de l'Automobile-Club de France.

VI. — Description rapide d'un atelier organisé pour construire annuellement environ mille voitures.

H. D.

Agenda Dunod 1907 : *Chemins de fer*, par M. Pierre Blanc, Chef du Secrétariat du Matériel et de la Traction des Chemins de fer Paris-Lyon-Méditerranée.

Nous appelons l'attention de nos Collègues sur la 29e édition de cet excellent agenda très riche en renseignements techniques, commerciaux et statistiques, concernant l'établissement et l'exploitation des chemins de fer. Cette nouvelle édition a été revue et très notablement augmentée. L'auteur y a introduit notamment les cahiers des charges unifiés des Compagnies françaises de chemins de fer pour la construction du matériel roulant. Nous n'avons pas besoin de faire remarquer l'utilité, pour les membres de la Société qui sont fournisseurs des chemins de fer, de ces documents qui ne se trouvaient pas jusqu'ici dans le commerce.

A. M.

Étude sur l'emploi des courroies dans les voitures automobiles, par M. R. Champly (2).

L'auteur pense que l'emploi de la courroie serait de nature à permettre l'abaissement du prix des voitures utilitaires. La brochure qu'il présente a pour objet d'inciter à de nouvelles études d'application de ce mode de transmission aux automobiles. On y trouve un exposé des conditions dans lesquelles doivent être installées les courroies en général et la critique d'un certain nombre de dispositifs comportant cet organe.

H. D.

(1) In-12, 150 × 100 de 18-xxiv-305-lxxii p. avec fig. Paris, H. Dunod et E. Pinat. 49, quai des Grands-Augustins, 1907. Prix : relié, 2,50 f.

(2) In-8°, de 142 p. avec 48 fig. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 49, quai des Grands-Augustins, 1907. Prix : broché, 4 f.

Dictionnaire-Vocabulaire de l'automobile et Manuel pratique de tourisme international, par M. Isart (1), secrétaire de la rédaction de *la Vie automobile.*

Le livre de M. Isart a pour but de venir en aide aux lecteurs des publications étrangères et aux touristes.

On y trouve sous forme d'index alphabétique l'équivalent en français des expressions allemandes, anglaises ou italiennes, et, sous forme de dictionnaire analytique avec figures, les termes français et leurs équivalents en allemand, en anglais et en italien.

La partie intitulée « manuel pratique de tourisme » comporte un certain nombre de renseignements généraux utiles (monnaies, postes, chemins de fer, douanes, etc.) et un vocabulaire spécialement étudié pour faire connaître rapidement les mots indispensables dans les trois langues étrangères indiquées ci-dessus.

H. D.

Éléments de mécanique et d'électricité, par M. M. R. de Valbreuze et Ch. Laville (2).

Ce volume s'adresse aux personnes qui veulent acquérir rapidement les notions générales indispensables pour la lecture des nombreuses publications relatives aux automobiles.

La première partie renseigne sur les unités mécaniques, le mouvement, les forces, le travail, le rendement et sur les principaux organes d'une automobile.

La seconde partie est consacrée aux unités magnétiques ou électriques, à l'induction, aux moteurs et aux transformateurs. On y trouve aussi des explications sur les différents systèmes de voitures électriques, mixtes ou à transmission électrique, sur les changements de vitesse électriques et enfin sur l'allumage dans les moteurs à explosions.

H. D.

IIIe SECTION

Mécanique, électricité et construction appliquées aux appareils de levage, par M. Louis Rousselet, Ingénieur des Arts et Métiers, officier d'Académie (3).

M. Rousselet, qui s'est fait une spécialité des appareils destinés à la manutention des fardeaux et qui a exécuté lui-même, puis dirigé un nombre considérable d'études de toutes sortes est ainsi des plus

(1) In-8°, de VII-330 p. avec fig. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 49, quai des Grands-Augustins, 1907. Prix : relié, 8 f.

(2) In-8° 185 × 120 de VI-379 p. avec 122 fig. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 49, quai des Grands-Augustins, 1907. Prix : relié, 7 f.

(3) In-8°, 285 × 190 de VI-553 pages, avec 286 figures et 11 planches. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 49, quai des Grands-Augustins, 1907. Prix, broché : 35 francs.



qualifiés pour présenter un ouvrage de ce genre, qui résume en somme une expérience acquise par plus de vingt ans de pratique dans deux très importantes sociétés de constructions de Paris.

L'auteur traite successivement des différentes formes sous lesquelles se présente l'énergie dont on peut disposer pour la commande des mécanismes et des conditions générales d'établissement des moteurs appropriés à ces différentes formes d'énergie. Il entre alors dans le détail en indiquant les règles à suivre pour l'élaboration des dessins d'exécution des freins, vis sans fin, roue hélicoïdale, engrenages, chaines diverses, câbles, poulies à noix, pignons galle, tambours à câble ou à chaine, suspensions, moufles, palans, bennes, etc.

Cette partie mécanique de la construction se trouve complétée par une collection de tableaux donnant des résultats théoriques, des données d'expériences et des conditions d'établissement des pièces séparées que l'on trouve toutes terminées chez les constructeurs spécialistes.

La présence de ces tableaux dans l'ouvrage même fera gagner un temps précieux aux Ingénieurs et dessinateurs qui se serviront des renseignements contenus dans cet ouvrage.

L'auteur aborde ensuite l'étude des charpentes métalliques, sans négliger le détail de la construction, tant au point de vue théorique que pratique. Les méthodes de calcul, algébriques et graphiques, sont expliquées clairement.

L'ouvrage se termine par la description d'une série d'appareils de tout genre, chaque description étant complétée par un résumé du poids et du prix de revient.

Dans un appendice, l'auteur a groupé, en outre, des tableaux concernant la résistance des matériaux, tels que moments d'inertie, flèches, formules pour le calcul des éléments travaillant à la compression, formules pour la détermination des ressorts et finalement les moments d'inertie des cornières, plats, poutres composées et parois.

Le traité de M. Rousselet rendra, à notre avis, de très grands services, parce qu'il englobe en un seul et même volume tous les renseignements dont un constructeur d'appareils de levage peut avoir besoin pour mener ses études à bien.

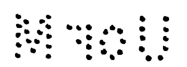
E. A.

Calcul graphique et Nomographie (1), par M. d'OCAGNE, professeur à l'École des Ponts et Chaussées, répétiteur à l'École Polytechnique.

Cet ouvrage est un des premiers que publie l'*Encyclopédie scientifique*, entreprise d'un haut intérêt, qui réunira un millier de monographies dues aux plumes les plus autorisées, et formera un exposé à la fois précis et complet des connaissances scientifiques actuelles.

Le livre de M. d'Ocagne est le développement du cours libre qu'il a professé cette année à la Sorbonne. Dans sa leçon inaugurale, il constate

(1) 1 vol. in-18 jésus de 400 p. avec 146 fig. O. Doin, Paris, 1907. Prix : relié, 5 f.



que l'application de la méthode graphique peut intervenir sous deux formes, suivant que les formules (ou les équations) sont purement numériques, ou qu'elles comportent des paramètres. Dans le premier cas, le Calcul graphique substitue des épures aux opérations numériques; dans le second cas, la Nomographie conduit à des tableaux graphiques où chaque paramètre est figuré par un système de droites ou de points cotés, de telle sorte que le resultat est obtenu à simple vue. Les épures du calcul graphique correspondent donc à une application déterminée, et doivent être recommencées pour chaque système de valeurs ; au contraire, les nomogrammes sont établis une fois pour toutes, et permettent de déterminer un paramètre dès qu'on se donne les valeurs de tous les autres : différence essentielle, qui caractérise bien les buts distincts des deux méthodes.

La représentation des nombres par des segments est familière aux ingénieurs. Elle est le fondement de la Statique graphique, qui leur rend tant de services. Ils n'en ont pas de moindres à espérer du Calcul graphique et de la Nomographie. Ces trois méthodes forment une trilogie appelée à prendre, bon gré mal gré, une place importante dans l'enseignement technique.

Calcul graphique, — C'est un savant ingénieur belge, M. Massau, qui, de 1878 à 1890, assit les principes généraux du Calcul graphique sur la Géométrie pure, en les affranchissant des considérations mécaniques qu'ils revêtent dans la Statique graphique. Le livre de M. d'Ocagne les reproduit sous une forme condensée et rajeunie, où l'on retrouve le talent didactique de cet éminent professeur.

Je signale la méthode Massau pour la résolution générale d'un système d'équations linéaires ; le développement, par M. d'Ocagne, d'une indication de M. Massau sur la marche systématique à suivre pour cette résolution ; la méthode des intervalles variables, de M. Farid Boulad ; l'élégant procédé de M. Lill pour la résolution des équations entières de degré quelconque, à l'aide d'un rapide tracé par orthogone sur lequel on déplace un transparent à quadrillage ; les courbes intégrales des divers ordres, et leur application à la détermination des efforts tranchants et des moments fléchissants ; la méthode Massau pour le tracé de ces courbes si l'on ne dispose pas d'un intégraphe ; la simplification, proposée par M. d'Ocagne, pour la génération d'une intégrale parabolique par dilatation de son polygone intégrant ; l'application des isoclines de Massau au tracé approximatif des courbes intégrales des équations différentielles quelconques du premier ordre ; enfin le perfectionnement apporté à cette méthode par M. Runge, et dont M. d'Ocagne nous offre la primeur.

Nomographie. — C'est M. d'Ocagne lui-même qui, de 1884 à 1899, coordonna en un corps de doctrine les principes épars concernant la Nomographie, et en étendit singulièrement le domaine par la création de sa belle méthode des points alignés. Il rappelle d'abord les abaques par lignes concourantes, les simplifications qu'y introduisit Lalanne avec l'anamorphose, puis les abaques hexagonaux de M. Lallemand, variété élégante des abaques à entrecroisement, mais qui ne comprend

que le cas très particulier où tous les réseaux sont formés de droites parallèles.

Les autres chapitres sont consacrés aux nomogrammes à points alignés imaginés deux ans avant la publication de la méthode des abaques hexagonaux, et autrement importants par leur netteté et leur puissance de généralisation. M. d'Ocagne adopte ici la classification rationnelle qui résulte de ma notion de l'ordre nomographique. Un scrupule d'exactitude étymologique conduit l'auteur à une autre innovation d'importance secondaire : quand il s'agit de courbes à points cotés, il proscrit le mot abaque au profit du mot nomogramme, d'allure plus lourde, proposé par M. Schilling.

Il convient de citer : les valeurs critiques de M. d'Ocagne dans la théorie des équations à 3 variables d'ordre 3 ; la méthode Clark pour les équations à 3 variables de tout ordre ; les nomogrammes coniques de M. Clark, circulaires de M. Soreau, à échelles parallèles de M. d'Ocagne; la simplification que j'ai imaginée pour ces derniers, si répandus, par l'alignement en chevrons, qui ne nécessite plus qu'une seule ligne de pivot; mes nomogrammes à circonférences concentriques et alignement parallèle ; ma théorie générale du double alignement, qui montre que les diverses sortes d'alignements (concourants, parallèles, à équerre, à équerre par le sommet), ne sont que des traductions graphiques différentes d'une même propriété analytique ; l'étude des équations à 4 variables d'ordre 4, d'après les travaux de MM. Soreau et Clark; enfin l'étude morphologique des nomogrammes de M. d'Ocagne, où l'auteur envisage tous les modes possibles de représentation.

En résumé, cet excellent ouvrage constitue vraiment, pour le Calcul graphique et la Nomographie, ce que les Allemands appellent une *discipline*.

R. Soreau.

Résistance des matériaux appliquée aux constructions. Méthodes pratiques par le calcul et la statique graphique, par M. E. Aragon, Ingénieur des Arts et Manufactures (1).

Nous ne pouvons que confirmer, à propos de ce nouveau volume de M. Aragon, les éloges que nous avons décernés à ses prédécesseurs : on y retrouve la même clarté et le même caractère pratique.

On trouvera traitées dans ce volume les questions des ponts tournants, des portes d'écluses, des appareils de levage : ponts roulants, grues, etc., sur l'intérêt desquels il est inutile d'insister.

L'un des chapitres les plus importants est celui consacré à la théorie de l'intégration graphique et à son application à la résistance des matériaux. Cette théorie permet de traiter avec précision et sûreté un grand nombre de problèmes qui se présentent fréquemment dans l'art du constructeur. Il en est, comme on le sait, de même des procédés nomo-

(1) In-8°, 185 × 120 de VIII-572 p. avec 1009 fig. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 49, quai des Grands-Augustins, 1908. Prix : relié, 12 f.

graphiques, abaques, etc., qui ne sont pas encore suffisamment répandus ni propagés par notre enseignement technique, malgré leur grande valeur pratique et leur exposition par des maîtres tels que MM. d'Ocagne et Soreau.

G. R.

Le mécanicien industriel, texte et croquis de Paul Blancarnoux, ingénieur mécanicien (A. et M) (1).

Cet ouvrage s'adresse à des praticiens manuels qui ne possèdent qu'une instruction primaire. Les quatre premiers chapitres sont consacrés à une étude rapide de l'arithmétique, de l'algèbre, de la géométrie et de la trigonométrie. Le chapitre V est consacré à de brèves notions de physique relatives à l'hydrostatique, aux dilatations, au changement d'état des corps et à la formation des vapeurs.

Le chapitre V comporte également des notions d'électricité : magnétisme, lois fondamentales, système des unités, instruments de mesures, piles, magnetos et dynamos, accumulateurs, éclairage et transports de l'énergie électrique.

Toutefois, l'étude des piles, machines, moteurs, accumulateurs, éclairage, appareillage, la conduite, les applications industrielles de l'électricité, les prescriptions administratives sont reprises au chapitre VI, dans la troisième partie de l'ouvrage.

Le chapitre VI de la première partie est consacré à des notions élémentaires de mécanique théorique.

La deuxième partie de l'ouvrage est consacrée aux chaudières et machines à vapeur.

La troisième partie est consacrée aux moteurs autres que ceux à vapeur : moteurs animés, moteurs à vent, à air comprimé, moteurs hydrauliques, moteurs à gaz, gazogènes, moteurs à pétrole et enfin machines électriques.

Dans la quatrième partie, l'auteur étudie les mécanismes d'atelier arbres, paliers, chaises, consoles, graisseurs, engrenages, poulies en métal, en bois, en carton-cuir, câbles, courroies en cuir, en caoutchouc, en balata, stella.

Cette partie comprend également une étude sur l'outillage moderne : petit outillage et machines-outils et sur l'usinage complet d'un organe de machine. Ce chapitre permet de suivre rapidement, depuis la fabrication du métal jusqu'à sa sortie de l'atelier de mécanique, une pièce de mécanique.

Le chapitre IV de cette quatrième partie est consacré aux notions d'hygiène, comprenant également les premiers soins à donner en cas d'accident et de législation nécessaires au mécanicien.

Au point de vue de la législation, le lecteur pourra consulter avec fruit les dispositions des lois et décrets qui régissent le travail : nous citerons nommément le décret loi du 9 septembre 1848 modifié par la loi

(1) In-8, 215 × 135 de vi-820 p. avec fig. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1908, prix broché 12 f.

du 30 mars 1900 et le décret du 28 mars 1902 sur la durée du travail des ouvriers adultes, la loi du 2 novembre 1892 sur le travail des enfants. des filles mineures et des femmes modifiée par la loi du 30 mars 1900, la loi du 22 février 1851 relative au contrat d'apprentissage, la loi du 12 juin 1893 et le décret du 29 novembre 1904 modifié par le décret du 22 mars 1906 sur les mesures générales de protection et de salubrité dans l'industrie.

La loi du 9 avril 1898 concernant les responsabilités des accidents dont les ouvriers sont victimes dans leur travail, modifiée par la loi du 2 mars 1902 et par la loi du 2 avril 1905.

Le décret du 23 mars 1902, relatif à l'exécution des articles 11 et 12 de la loi du 9 avril 1898, modifiée par la loi du 22 mars 1902.

Enfin, l'auteur consacre de nombreuses pages à la question des brevets d'invention : formalités à remplir pour obtenir un brevet d'invention, loi du 5 juillet modifiée par la loi du 7 avril 1902, l'arrêté ministériel du 11 août 1903,

En résumé, cet intéressant ouvrage est une sorte d'encyclopédie où le mécanicien intelligent pourra trouver un rapide résumé de toutes les connaissances relatives à la mécanique générale.

Ch. Compère.

—

La montre décimale (1), à l'usage des Astronomes, des Ingénieurs et des Sportsmen, par M. J. de Rey-Pailhade, expose les avantages de la mesure du temps d'après le système décimal.

Le jour entier de vingt-quatre heures est divisé en 100 parties égales appelées *cés*, divisées elles-mêmes en *décicés*, *centicés*, *millicés* et *dimicés*. par abréviation.

Le cé vaut 14'24" soit près d'un quart d'heure ; le décicé 1'26"4 soit environ 1'1/2 ; le millicé 0'864, soit 9/10 de seconde.

Ces quantités sont donc facilement évaluables, à peu d'erreur près, en mesures habituelles.

M. Rey-Pailhade affirme qu'avec un peu d'habitude, celui qui emploie une montre décimale, convertit facilement l'heure décimale et souffre peu du changement d'unité.

En revanche, le bénéfice de l'emploi de cette mesure est considérable et M. Daniel Murgue le met en évidence dans une remarquable préface qu'il faudrait citer tout entière.

Une simple soustraction de deux chiffres permet de noter un temps en cés, décicés, millicés, tandis que, avec les montres actuelles ; « suivant qu'on prend pour unité l'heure, la minute ou la seconde, les chiffres observés ne sont plus les mêmes, un simple déplacement de la virgule cesse de suffire ; et si, dans les calculs, on reste fidèle à l'unité choisie, il faut traîner avec soi des nombres fractionnaires, source incessante de complications et d'erreurs. »

J. Deschamps.

(1) In-8°, 230 × 150, de VIII-17 p. Paris, Gauthier-Villars, 55, quai des Grands-Augustins, 1907.

Les moteurs à gaz, étude des projets, construction et conduite des moteurs à explosion (1), par M. H. HAEDER, traduit de l'allemand, par M. VARINOIS.

Cet ouvrage diffère de tous les traités connus en France sur les moteurs à gaz. Il est essentiellement pratique et appelé à rendre de très grands services aux constructeurs.

Tous les organes, du moteur à gaz, y sont décrits, dans leurs détails de construction. Tous les calculs que doit faire un constructeur, y sont établis, pièce par pièce, exposés avec des formules pratiques, des tableaux, des exemples numériques et des graphiques qui montrent les efforts que les organes supportent et les résistances qui doivent être prévues.

L'auteur passe, d'abord, en revue, les différents types de construction avec leurs procédés d'équilibrage, les diagrammes des efforts des différentes pièces en mouvement. Il examine, ensuite, chaque organe, en particulier, les précautions qui doivent être prises pour son établissement, d'après la fatigue et les efforts qu'il supporte et pour la meilleure utilisation.

L'étude de l'arbre-manivelle et ses paliers, celle des pistons et des cylindres forment de longs chapitres. Le volant est étudié pour tous les coefficients de régularité et tous les procédés de régulation. Il y a, dans cet ouvrage, des documents extrêmement nombreux, qui doivent singulièrement faciliter le travail de celui qui veut établir un moteur nouveau. Presque partout, il trouvera la marche à suivre pour le calcul des pièces à créer, s'il ne veut suivre aveuglément le guide.

Un appendice expose les conditions générales d'établissement d'une station de force motrice au gaz pauvre et donne de précieux conseils pour la mise en marche et l'entretien.

J. DESCHAMPS.

Théorie et usages de la règle à calcul (2), par M. P. ROZE.

Cette brochure doit être fort utile à tous ceux qui veulent faire un usage fréquent de la règle à calcul.

L'auteur expose, d'abord, les principes sur lesquels cet instrument a été imaginé, montre les grands avantages de la règle Mannheim, le bénéfice de la modification Tserepachinsky pour la règle des écoles, modification imaginée en même temps par M. Beghin, pour une règle spéciale.

On trouve, dans cet ouvrage, les procédés les plus rapides et les plus precis, avec des exemples numériques.

J. DESCHAMPS.

(1) In-8°, 230×180, de xv-207 p. avec 726 fig. et 75 tabl. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 49, quai des Grands-Augustins, 1907. Prix : broché, 12,50 f.

(2) In-8°, 230 × 140, de iv-118 p. avec 85 fig. et 1 pl. Paris, Gathier-Villars, 55, quai des Grands-Augustins, 1907. Prix : broché, 3,50 f.

IVe SECTION

L'industrie aurifère en Colombie, par A, Demangeon (1).

M. Demangeon a été, pendant de longues années, Ingénieur dans les exploitations aurifères de la Colombie, à ce titre l'ouvrage qu'il vient de publier (extrait du Bulletin de la Société des Ingénieurs Coloniaux) présente un réel intérêt pour ceux qui désirent avoir quelques notions générales sur l'or en Colombie ou tenter la fortune dans ce pays. Après une partie historique très intéressante et très documentée, l'auteur donne succcessivement une monographie des exploitations, des détails sur les recherches, et la description des méthodes de traitement. Viennent ensuite des renseignements économiques et législatifs et un glossaire colombien-français.

Le travail eût gagné beaucoup en intérêt à être accompagné d'une table des matières, de quelques tableaux statistiques et d'une carte du pays. Il est néanmoins fort utile, la littérature minière sur la Colombie étant très pauvre en renseignements de ce genre.

J. G. B.

Ve SECTION

Engineering Index, volume IV, publiée par l'*Engineering Magazine* (2).

L'*Engineering Index* (table-recueil des travaux de l'ingénieur) volume IV que nous devons à l'amabilité de son éditeur, M. Henry Harrisson Suplee, présente un très grand intérêt pour tout Ingénieur, ayant toutefois quelques connaissances en langue anglaise, car il peut y trouver, très rapidement, des renseignements complets sur les travaux des ingénieurs de tous les pays, ayant paru sur le sujet qu'il étudie et suffisamment précis pour qu'il sache s'il doit se reporter au travail désigné ou s'il doit s'abstenir.

Nous devons adresser nos meilleurs remerciements à M. Harrisson Suplee.

L'*Engineering Index* a été fondé par le professeur J.-B. Johnson et édité, sous sa direction, par l'Association des Ingénieurs civils Américains.

En 1892, l'*Engineering Magazine* prenait soin de l'éditer, toujours sous

(1) In-8°, 235 × 155, de 231 pages avec figures. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 49, quai des Grands-Augustins, 1907. Prix : broché, 6 f.

(2) In-8°, 240 × 165 de 1 234 p. à 2 col. New-York, 140-142 Nassau Street, and London. 225-227 Strand W. C., *The Engineering Magazine*, 1906. Prix : relié, £ 7.50.

la même direction du professeur J.-B. Johnson et lui donnait une grande extension.

L'Index compte, actuellement, un nombre considérable de désignations : plus de 50 000. Plus le nombre des désignations est grand, et plus il y a de difficultés à trouver un classement pratique et facile.

C'est dans la méthode du classement qu'ont excellé lés organisateurs de ce gros travail. Cette méthode consiste à grouper les désignations de travaux suivant des catégories, placer chacune d'elles, sous un même nom générique (Catch Words).

Ces noms, très judicieusement choisis, sont placés par ordre de lettres alphabétiques et sont portés en lettres capitales, en haut et de chaque côté de la page, pour dénommer la colonne.

Ces noms génériques comprennent des noms sous-titres qui prennent la suite des noms génériques, tout en les rappelant.

Les différentes désignations sont rangées dans chacune des catégories, par ordre de lettres alphabétiques et il est très facile de se reconnaître au milieu de ce grand nombre de désignations.

Ce qui simplifie et facilite les recherches également, c'est le *cross reference* c'est-à-dire un nom placé à son ordre de lettre alphabétique, auprès duquel est jointe l'indication de se reporter à une autre catégorie et à une autre page.

Ces noms de report multipliés contribuent beaucoup à augmenter la facilité et rapidité des recherches.

Nous devons donc remercier M. Harrisson Suplee d'avoir mis la Société des Ingénieurs civils de France à même d'être possesseur d'un livre aussi complet de renseignements et aussi pratiquement établi.

Léopold Appert.

VIe SECTION

Exposé théorique et pratique de l'électricité industrielle (1). — *Dangers des courants électriques*, par M. E. Zacon, ancien mécanicien de la Marine, mécanicien électricien.

Ainsi que l'auteur l'indique dans l'avant-propos, cet ouvrage s'adresse plus particulièrement aux contremaîtres et ouvriers électriciens ; ce livre recherche donc une place spéciale entre ceux écrits pour les Ingénieurs, et ceux destinés à la simple vulgarisation.

Il est divisé en huit chapitres ; les sept premiers renferment un raccourci des notions élémentaires d'électricité que doivent posséder ceux qui sont astreints à cette profession.

L'auteur aborde, dans le huitième chapitre, le véritable objet de ce livre ; il le consacre à l'étude des accidents électriques dans l'industrie ;

(1) In-8°, 250 × 165, de III-208 p. avec 94 fig. Paris, Société d'Éditions techniques, 1907. Prix : broché, 7,50 f.

il rappelle les diverses règles, énoncés, prescriptions, instructions, circulaires ministérielles en vigueur, pour prévenir les accidents dans les installations électriques; il donne des conseils utiles à consulter dans bien des circonstances pour les non-initiés à cette industrie; ces derniers trouveront donc un profit certain à s'en inspirer.

E. Javaux.

La télégraphie sans fil et la télémécanique à la portée de tout le monde, par M. Monier, Ingénieur des Arts et Manufactures (1).

Cette excellente monographie de 140 pages justifie bien son titre, car l'auteur n'exige aucune notion préalable du lecteur, qui trouvera dans ce petit ouvrage, décrits d'une façon complète et concise. tous les éléments fondamentaux de la télégraphie sans fil, à savoir : la pile ou source d'électricité, la bobine d'induction, l'antenne, l'électro-aimant-relais et enfin l'organe *radio-conducteur* dont la découverte est due à notre compatriote M. le Professeur Branly.

Les propriétés de l'éther et des ondes électriques utilisées pour la transmission y sont également exposées d'une façon très claire et très élémentaire dans le chapitre II.

Les chapitres III et IV sont consacrés à l'exposé de l'état actuel de la question dans les différents pays et des progrès réalisés récemment dans le sens de la *syntonisation* des organes récepteurs et transmetteurs.

Enfin, un chapitre relatif à la *télémécanique* sans fil ou transmission électrique de mouvements mécaniques à distance termine et complète ce petit ouvrage dont la lecture facile et rapide est à recommander aux personnes désirant acquérir des notions succinctes mais cependant suffisamment complètes et précises sur cette question à l'ordre du jour.

R. Arnoux.

(1) In-8°, 185 × 120, de VII-142 pages, avec 14 figures. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 49, quai des Grands-Augustins, 1907. Prix : broché, 2 f.

Le Secrétaire Administratif, Gérant,
A. de Dax.

IMPRIMERIE CHAIX, RUE BERGÈRE, 20, PARIS. — 18014-11-07. — (Encre Lorilleux)

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE

BULLETIN

DE

DÉCEMBRE 1907

N° 12

OUVRAGES REÇUS

Pendant le mois de décembre 1907, la Société a reçu les ouvrages suivants :

Astronomie et Météorologie.

PASTRANA. (M.-E.). — *El Servicio Meteorológico de la República Méxicana. Monografia formada para la Exposición Universal de San Louis Missouri*, por el Director del Observatorio, Ing. Manuel E. Pastrana (Secretaria de Fomento, Colonización e Industria de la República Méxicana. Observatorio Meteorológico Magnetico Central de México) (in-8°, 260 × 170 de 138 p., avec illust.). México, 1906. (Don de l'Observatorio Meteorológico Magnetico Central de México.) 45183

Chemins de fer et Tramways.

A Dictionary of Electric Railway Material. Edition of 1907 (Internacional Number Street Railway Journal) (in-8°, 225 × 150 de 186 p. à 2 col.). New-York, Mc. Graw Publishing Company. (Don de l'éditeur.) 45181

Annuaire Marchal des Chemins de fer et des Tramways. Publication officielle. 1907. 22e année (in-8°, 255 × 165 de 1 392-44 p.). Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1907. (Don des éditeurs.) 45152

Blanc (P). — *Chemins de fer, 29e édition revue et augmentée*, par Pierre Blanc. *1908* (Agenda Dunod à 2,50 f) (in-16, 150 × 110 de 18-xxii-405-lxiv p.). Paris, H. Dunod et E. Pinat. (Don de l'auteur et des éditeurs.) 45168

Doniol (A.). — *Note sur la réglementation des Chemins de fer d'intérêt local et des Tramways et sur la rédaction de leurs cahiers des charges*, par M. A. Doniol (Extrait de la Revue Générale des Chemins de fer et des Tramways. N° de décembre 1907) (in-4°, 315 × 225 de 51 p.). Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1097. (Don de l'auteur, M. de la S.) 45206

Marié (G.). — *Les oscillations du matériel dues au matériel lui-même et les grandes vitesses des Chemins de fer*, par M. Georges Marié. Ouvrage extrait des travaux de l'auteur, couronnés par l'Académie des Sciences en 1906 (Extrait de la Revue Générale des Chemins fer et des Tramways. Nos de mai et juin 1907) (in-4°. 320 × 220 de 79 p. avec 17 fig.). Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1907. (Don de l'auteur, M. de la S.) 45161

Mermier (E.). — *La ventilation et la réfrigération du tunnel du Simplon*, par E. Mermier (in-4°, 310 × 230 de 31 p. à 2 col. avec 54 fig.) (Extrait du Bulletin Technique de la Suisse romande. Année 1907. Nos 7, 9, 10 et 12). Lausanne, F. Rouge et Cie, 1907. (Don de la Direction du 1er Arrondissement des Chemins de fer Fédéraux.) 45153

Report of the Proceedings of the forty-first Annual Convention of the Master Car Builder's Association held at Atlantic City. N. J. June 17, 18 and 19, 1907 (in-8°, 225 × 150 de 642 p. avec pl. et tabl.). Chicago, Ill., Printed by the Henry O. Shepard Company, 1907. 45189

Statistique des Chemins de fer français au 31 décembre 1904. Documents divers. Deuxième partie. Intérêt local et Tramways. France et Algérie. (Ministère des Travaux publics. Direction des Chemins de fer) (in-4°, 315 × 240 de 517 p.). Paris, Imprimerie Administrative, 1907. 45202

Chimie.

Balland (A.) et Luizet (D.). Chasles (H.). Haller (A.). — *Le Chimiste Z. Roussin. Chimie. Physiologie. Expertises médico-légales*, par A. Balland et D. Luizet, avec Notice bibliographique, par H. Chasles. Préface de A. Haller (in-8°, 230 × 140 de xi-311 p. avec 2 pl.). Paris, J.-B. Baillière et fils, 1908. (Don de M. H. Chasles, M. de la S.) 45165

Javet (Ém.). — *Chimie, 29e édition revue et augmentée*, par Émile Javet, *1908* (Agenda Dunod à 2,50 f) (in-16, 150 × 110 de 22-xxi-378-74 p.). Paris, H. Dunod et E. Pinat. (Don des éditeurs.) 45169

Construction des Machines.

MEIGNEN (E.). LEROUX (G.). BALLIF (A.). — *Mémento de l'Automobile. Petit Dictionnaire de route*, par E. Meignen et G. Leroux. Introduction de M. Abel Ballif (in-12, 180 × 115 de 336 p. avec fig.). Paris, Ernest Flammarion. (Don de M. G. Leroux, M. de la S.) 45167

RAZOUS (P). — *Usines et Manufactures*, par M. Paul Razous, *7e édition complètement remaniée. 1908* (Agenda Dunod à 2,50 f) (in-16, 150 × 110 de 14-VIII 256-LXIV p.). Paris, H. Dunod et E. Pinat. (Don des éditeurs.) 45174

Réglementation des appareils à vapeur. Lois des 21 juillet 1856, 18 avril 1900, 18 juillet 1892. Décrets des 1er février 1893 et 9 octobre 1907 (in-8°, 215 × 135 de 40 p.). Paris, Marcel Rivière, 1908. (Don de l'éditeur.) 45200

RICHARD (G.). — *Mécanique*, revu par G. Richard, *30e édition. 1908* (Agenda Dunod à 2,50 f) (in-16, 150 × 110 de 10-VI-192-LXIV p.). Paris, H. Dunod et E. Pinat. (Don des éditeurs.) 45172

Éclairage.

Société technique de l'Industrie du Gaz en France. Compte rendu du trente-quatrième Congrès tenu les 11, 12, 13 et 14 juin 1907, à Nancy, dans la salle de Déglin (in-8°, 250 × 160 de 15-664 p. avec IV pl.). Paris, Imprimerie de la Société anonyme de Publications périodiques, 1907. 45192

Économie politique et sociale.

American Trade Index 1907. English Français. National Association of Manufacturers of the United States America (in-8°, 215 × 140 de 508-53 p.). New-York, Published for the National Association Manufacturers, 1907. (Don de l'éditeur.) 45164

COLSON (C.). — *Cours d'Économie politique, professé à l'École Nationale des Ponts et Chaussées*, par C. Colson. *Livre sixième. Les travaux publics et les transports* (Encyclopédie des Travaux publics, fondée par M.-C. Lechalas) (in-8°, 255 × 165 de 527 p.). Paris, Gauthier-Villars; Félix Alcan, 1907. (Don de l'auteur.) 45180

Compagnie Générale des Voitures à Paris. Assemblée générale annuelle du 29 avril 1907. Rapport du Conseil d'administration sur les comptes de l'exercice 1906 (in-4°, 310 × 240 de 24 p. avec 11 tabl.). Paris, Maulde, Doumenc et Cie. 45178

Société de Secours des Amis des Sciences. Compte rendu du cinquantième exercice. Quarante-quatrième séance publique annuelle, tenue le 29 juin 1907, au Cercle de la Librairie (in-8°, 210 × 135 de 105 p.). Paris, Gauthier-Villars, 1907. 45205

Électricité.

DEVAUX-CHARBONNEL. POINCARÉ (H.). — *État actuel de la science électrique. Phénomènes. Applications. Théories*, par Devaux-Charbonnel. Préface de H. Poincaré (in-8°, 255 × 165 de x-650 p., avec 346 fig.). Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1908. (Don des éditeurs.) 45198

JENNY (F.). — *La distribution de l'énergie électrique dans la ville de Grenoble*, par F. Jenny. (Société pour le Développement de l'Enseignement technique près l'Université de Grenoble. Publications de « La Houille blanche ») (in-8°, 240 × 160 de 51 p. avec 24 fig.). Grenoble, Gratier et Rey, 1907. (Don des éditeurs.) 45209

MESTRE (C.-E.). — *Rapport sur une Mission en Angleterre et en Écosse (juin-juillet 1906)*, présenté par M. C.-E. Mestre, Ingénieur-Électricien attaché au Contrôle des Tramways et du Métropolitain (Conseil général de la Seine 1907. N° 26) (in-4°, 265 × 205 de 54 p.). Hôtel de Ville, Imprimerie municipale, 1907. (Don de l'auteur, M. de la S.). 45212

MONTPELLIER (J.-A.). — *Électricité*, par J.-A. Montpellier. *30e édition complètement revue et augmentée. 1908*. (Agenda Dunod à 2,50 f) (in-16, 150 × 110 de 26-VIII-325-LXIV p.). Paris, H. Dunod et E. Pinat. (Don des éditeurs.) 45171

Enseignement.

R. Università Romana. Scuola d'applicazione per gl' Ingegneri. Annuario per l'anno scolastico 1907-1908 (in-16, 150 × 105 de 139 p.). Roma, D. Battarelli, 1907. 45204

Géologie et Sciences naturelles diverses.

UZIELLI (G.). — *Azione dinamica dell' acqua sulle rocce e sulle terre sciolte. Nuovi principi per la teoria della spinta delle terre*, per Gustavo Uzielli (Associazione Italianá per gli studi sui Materiali da costruzione) (in-8°, 245 × 170 de 23 p.). Bologna, Stabilimento poligrafico Emiliano, 1907. (Don de l'auteur.) 45211

Législation.

XXXVIII. Adressverzeichnis der Mitglieder der Gesellschaft ehemaliger Studierender der Eidg. polytechnischen Schule in Zürich. Herausgegeben im Auftrage des Vorstandes im Oktober 1907 (in-8°, 220 × 150 de 59 p.). Zürich, Druck von Juchli und Beck, 1907. 45185

Anhang zum XXXVIII. Adressverzeichnis der Gesellschaft ehemaliger Studierender des Eidgenössischen Polytechnikums in Zürich. September 1907 (in-8°, 220 × 150 de 64 p.). 45186

Association internationale permanente des Congrès de Navigation. Règlement revisé. Édition 1907 (in-8°, 235 × 155 de 10 p.). 45196

Bolletino dell' Associazione fra gli ex-allievi del Politecnico Milanese. II° 1865-1905 (in-8°, 240 × 165 de CLXXXIV-227 p.). Milano, Sede dell' Associazione, 1907. 45207

Métallurgie et Mines.

Breuil (P.). — *Copper Steels*, by Pierre Breuil (Reprinted from the Journal of the Iron and Steel Institute. N° II, for 1907) (in-8°, 215 × 140 de 78 p. avec 17 fig. et 10 pl.). London, Published at the Offices of the Institute, 1907. (Don de l'auteur.) 45158

Breuil (P.). — *Fabrication à froid des tubes et profilés. Procédés de la Société française de Métallurgie*, par Pierre Breuil (Extrait du Journal Le Génie Civil) (in-8°, 240 × 155 de 30 p., avec 19 fig.). Paris, Publications du Journal Le Génie Civil, 1907. (Don de l'auteur.) 45188

Levat (D.). — *Mines et Métallurgie*, par M. David Levat. *30e édition 1908* (Agenda Dunod à 2,50 f) (in-16, 150 × 110 de 30-x-277-LXIV p.). Paris, H. Dunod et E. Pinat. (Don des éditeurs.) 45173

Obalski (J.). — *Mines and Minerals of the Province of Quebec*, by J. Obalski, *1889-1890* (in-8°, 245 × 160 de 177 p.). (Don de l'auteur.) 45157

Obalski (J.). — *Opérations minières dans la province de Québec pour 1903, l'année 1905 et l'année 1906*, par J. Obalski (Département de la Colonisation, des Mines et des Pêcheries) (3 brochures in-8°, 250 × 170 de 87 p., 45 p. et de 63 p., avec photogr. et 1 carte). Québec, Charles Pageau. 45154 à 45156

Ragno (S.). — *La Tecnologia delle saldature autogene dei metalli*, per l'Ingegnere S. Ragno (Manuali Hoepli) (in-16, 150 × 100 de 129 p., avec 18 fig.). Milano, Ulrico Hoepli, 1907. (Don de l'éditeur.) 45159

Tassart (L.-C.). — *Exploitation du pétrole. Historique. Extraction. Procédés de sondage. Géographie et géologie. Recherches des gîtes. Exploitation des gisements. Chimie. Théories de la formation du pétrole*, par L.-C. Tassart (in-8°, 285 × 190 de XV-726 p., avec 310 fig. et 17 pl.). Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1908. (Don des éditeurs). 45151

The Mineral Industry, its Statistics. Technology and Trade during 1906. Volume XV. Supplementing Volumes I to XIV (in-8°, 240 × 160 de XXIV-954-15 p.). New-York, London, E. C., Hill Publishing Company, 1907. 45184

Navigation aérienne, intérieure et maritime.

Audebrand (Ct). — *La Houille blanche et la question sylvo-pastorale*, par le Commandant Audebrand (Société pour le Développement de l'Enseignement technique près l'Université de Grenoble. Publications de « La Houille blanche ») (in-8°, 240 × 160 de 40 p.). Grenoble, A. Gratier et J. Rey, 1907. (Don des éditeurs.) 45210

Castanheira das Neves (J. da P.). — *A Evolução do Alumiamento Maritimo e dos Signaes de Nevoiero para prevenção aos navegantes*, por J. da P. Castanheira das Neves (Extracto da Revista de Obras Publicas e Minas. Nos 433-435 de 1906) (in-8°, 230 × 145 de 114 p., avec 2 pl.). Lisboa, Imprensa nacional, 1906. (Don de l'auteur.) 45193

Cozza (L.). — *La riattivazione del ramo del Tevere a sinistra dell' Isola di S. Bartelomeo e le riparazioni del danni arrecati ai muraglioni della piena del 2 dicembre 1900*, per Luigi Cozza (in-8°, 270 × 190 de 49 p., avec 18 illust. et 5 pl.). Roma, Stabilimento tipolitografico del Genio Civile, 1907. (Don de l'auteur.) 45203

Hart. — *Note sur le « Dreadnought »*, par M. Hart (Extrait du Bulletin de l'Association technique maritime. N° 18. Session de 1907) (in-8°, 285 × 185 de 27 p., avec 3 pl. et 7 tabl.). Paris, Gauthier-Villars, 1907. (Don de l'auteur, M. de la S.) 45190

Hart. — *Note sur le fonctionnement des hélices mues par turbines*, par M. Hart (Extrait du Bulletin de l'Association technique maritime. N° 18. Session de 1907) (in-8°, 285 × 185 de 19 p.). Paris, Gauthier-Villars, 1907. (Don de l'auteur, M. de la S.) 45191

Pacoret (E.). Blondel (A.). — *La Technique de la Houille blanche*, par E. Pacoret et Préface de M. A. Blondel (in-8°, 255 × 165 de xxxvi-830 p., avec 300 fig. et 12 pl.). Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1908. (Don des éditeurs.) 45197

Whitford (N.-E.). — *History of the Canal System of the State of New-York, together with Brief Histories of the Canals of the United States and Canada. Volume I and Volume II*, by Noble E. Whitford (Supplement to the Annual Report of the State Engineer and Surveyor of the State of New-York, for the fiscal Year ending September 30, 1905) (2 volumes in-8°, 230 × 145 de 1 547 p., avec 2 pl. hors texte). Albany, Brandow Printing Company, 1906. (Don de l'auteur, de la part de M. E.-L. Corthell, M. de la S.) 45176 et 45177

Routes.

Bret. — *Note sur le piochage mécanique des empierrements*, par M. Bret (Annales des Ponts et Chaussées. Mémoires et documents. Année 1907. 4e trimestre, pages 101 à 134) (in-8°, 245 × 160 de 34 p., avec 27 fig.). (Don de l'auteur.) 45195

Sciences mathématiques.

Aragon (E.). — *Résistance des matériaux appliquée aux constructions. Méthodes pratiques par le calcul et la statique graphique. Tome troisième*, par Ernest Aragon (Bibliothèque du Conducteur de Travaux publics) (in-8°, 185 × 120 de viii-572 p., avec 1 009 fig.). Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1908. (Don des éditeurs.) 45150

Bazard (A.). — *Cours de Mécanique*, par A. Bazard. *Troisième volume. Hydraulique* (Cours professé aux Écoles d'Arts et Métiers) (in-8°, 280 × 190 de 532 p., avec 299 fig.). Paris, E. Bernard, 1908. (Don de l'éditeur.) 45163

Eiffel (G.). — *Recherches expérimentales sur la résistance de l'air, exécutées à la tour Eiffel*, par G. Eiffel (in-4°, 325 × 250 de VII-98 p., avec 17 fig. et 3 héliogravures). Paris, L. Maretheux, 1907. (Don de l'auteur, M. de la S.) 45148

Marié (G.). — *Formule relative à une condition de stabilité des automobiles et spécialement des autobus. Oscillations diverses*, par Georges Marié. Applications des travaux de l'auteur, couronnés par la Société des Ingénieurs Civils et par l'Académie des Sciences en 1906 (Extrait des Mémoires de la Société des Ingénieurs Civils de France. Bulletin de juin 1907) (in-8°, 270 × 185 de 42 p., avec 5 fig.). Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1907. (Don de l'auteur, M. de la S.) 45162

Maupeou d'Ableiges (Comte de). — *Force et Matière. Éléments de mécanique du choc*, par le Comte de Maupeou d'Ableiges (Extrait du Bulletin de l'Association technique maritime. Session de 1907) (in-8°, 285 × 185 de 73 p., avec 27 fig.). Paris, Gauthier-Villars, 1907. (Don de l'auteur.) 45199

Ocagne (M. d'). — *Calcul graphique et Nomographie*, par M. d'Ocagne (Encyclopédie Scientifique, publiée sous la direction du Dr Toulouse. Bibliothèque de Mathématiques appliquées. Directeur M. d'Ocagne) (in-16, 185 × 120 de XXVI-385-XII p., avec 146 fig.). Paris, Octave Doin. (Don de M. R. Soreau, M. de la S., de la part de l'auteur.) 45175

Sciences morales. — Divers.

Vallot (H.) et **Vallot** (J.). — *Environs de Chamonix, extraits de la carte du massif du Mont-Blanc, à l'échelle de 1 : 20.000e*, exécutée par Henri Vallot et Joseph Vallot, d'après leurs triangulations et levés de plans. Feuille provisoire dressée et dessinée par Henri Vallot. 1907 (une feuille pliée format 210 × 130). Paris, Henry Barrère. (Don des auteurs, M. de la S.) 45201

Technologie générale.

Canet (G.). — *The Junior Institution of Engineers*. Inaugural Address of the President M. Gustave Canet (Past President of the Institution of Civil Engineers of France) on « *Some Comparisons between French and English Artillery* ». Delivered at the Institution of Civil Engineers, Great George Street, Westminster, on Monday 18 th. November 1907 (in-8°, 215 × 135 de 22 p.). Westminster, S. W., Offices of the Institution, 1907. (Don de l'auteur, M. de la S.). 45149

Malavasi (C.). — *Vademecum per l'Ingegnere Costruttore-Meccanico*, per l'Ingegnere C. Malavasi (Manuali Hoepli) (in-16, 150 × 100 de 555 p., avec 1 131 fig. et 266 tabl.). Milano, Ulrico Hoepli, 1907. (Don de l'éditeur.) 45160

Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers; with other selected and abstracted Papers. Vol. CLXIX, 1906-7. Part. III (in-8°, 215 × 135 de viii-527 p., avec 8 pl.). London, Published by the Institution, 1907. 45182

The Institution of Mechanical Engineers. Proceedings. 1907. 1-2 (in-8°, 215 × 135 de xxxii-559 p., avec 53 pl.). Westminster, S. W. Published by the Institution. 45179

Vierundvierzigstes Bulletin der Gesellschaft ehemaliger Studierender des Eidgenössischen Polytechnikums in Zürich. Dezember 1907 (in-8°, 220 × 150 de 23 p.). 45187

Travaux publics.

Annuaire d'adresses des Fonctionnaires du Ministère des Travaux publics, des Postes et des Télégraphes, des Chemins de fer, de la Navigation, des Mines, de l'Industrie et des Banques, 1908 (in-12, 180 × 110 de 440 p.). Paris, Au Bureau des Huissiers du Cabinet du Ministre, 1908. 45208

Castanheiro das Neves (J. da P.). — *Subsidios para o Estudo das Pozzolanas e sua applicacão nas construcções.* Memoria apresentada a Direcção general de Obras Publicas e Minas, por J. da P. Castanheira das Neves (in-8°, 230 × 145 de 77 p.). Lisboa, Imprensa nacional, 1906. (Don de l'auteur.) 45194

Debauve (A.). Aucamus (E.). — *Construction : I. Généralités*, revu par A. Debauve. *II. Construction du bâtiment*, par E. Aucamus. *30e édition revue et augmentée. 1908* (Agenda Dunod à 2,50 f). Paris, H. Dunod et E. Pinat. (Don des éditeurs.) 45170

Grosseteste (W.). — *La Chartreuse de Miraflorès, près Burgos (Espagne), et l'église de Brou, près Bourg (Ain)*, par William Grosseteste (in-8°, 225 × 140 de 4 p., avec 2 pl.). Bourg, Imprimerie du Courrier de l'Ain, 1907. (Don de l'auteur, M. de la S.) 45166

MEMBRES NOUVELLEMENT ADMIS

Les Membres nouvellement admis, pendant le mois de décembre 1907, sont :

Comme Membres Sociétaires Titulaires, MM. :

P. Bachelay, présenté par MM. Cornuault, Barbet, Masson.
H. Bastian, — Cornuault, P. Postel-Vinay, Dieppedalle.
R. Bauret, — Compère, Cornesse, Métayer.
J. Bourdel, — Coiseau, A. Postel-Vinay, Mazen.
E. Coursier, — A. Leroy, Martignoni, Roullié.
F. Gouïn, — Dayras, E. Giraud, Taragonet.
H. Kapferer, — H. Deutsch, R. Esnault-Pelterie, Hugon.
A. Louppe, — Avisse, E. Fouché, Rousseau.
P. Nolet, — J. François, N. François, Kraft de la Saulx.
J. Quincy, — Allamel, Contrestin, de Gaechter.
Ch. Street, — Hillairet, A. Postel-Vinay, Javaux.

Comme Membres Sociétaires Assistants, MM. :

R. Clermonté, présenté par MM. Hillairet, Louyot, G. Richard.
V. Marmor, — Hillairet, Louyot, G. Richard.
F. Martin, — Cornuault, Barbet, de Fréminville.
M. Vinot, — Amand, Boulte, Roman.

Comme Membre Associé, M. :

C.-P. Candargy, présenté par MM. Baclé, Herdner, Schving.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU MOIS DE DÉCEMBRE 1907

PROCÈS-VERBAL

DE LA

SÉANCE DU 6 DÉCEMBRE 1907.

PRÉSIDENCE DE M. CH. DE FRÉMINVILLE, PRÉSIDENT DE LA 2e SECTION DU COMITÉ

La séance est ouverte à 8 heures trois quarts.

Le procès-verbal de la précédente séance est lu et adopté.

M. LE PRÉSIDENT exprime à la Société les regrets de M. le Président Cornuault qui, souffrant, n'a pu se rendre à la séance.

M. LE PRÉSIDENT a le regret de faire connaitre les décès de MM. :

Léon-Ch. Charpentier, membre de la Société depuis 1891, fabricant de toiles imperméables;

J. Laffargue, membre de la Société depuis 1897, ancien Directeur de l'Usine municipale d'Électricité de la Ville de Paris, chevalier de la Légion d'honneur;

Le baron Prisse, membre de la Société depuis 1853, ancien élève de l'École Centrale, promotion 1833, et dernier survivant de cette promotion. Né le 26 août 1814, le baron Prisse, à sa sortie de l'École Centrale, fut attaché aux Magasins Généraux de Paris; puis, rentré en Belgique, il fut successivement Ingénieur aux Chemins de fer de l'État, à la Compagnie de la Flandre Occidentale et, de 1848 à 1887, Ingénieur en chef, Directeur-gérant des Chemins de fer d'Anvers à Gand. Il prit une part active à la constitution de la Compagnie Générale pour l'Éclairage et le Chauffage par le Gaz, en 1862, et fut Président de son Conseil d'administration pendant plusieurs années. Le baron Prisse était officier de l'ordre de Léopold de Belgique, de la croix de première classe du Mérite civil, de la médaille d'or des Sauveteurs, etc. En toute circonstance, les membres de la Société des Ingénieurs Civils de France étaient assurés

de trouver auprès de lui le plus bienveillant et le plus chaleureux accueil.

M. le Président adresse aux familles de ces regrettés Collègues l'expression des sentiments de profonde sympathie de la Société.

M. le Président a le plaisir de faire connaître que :

MM. Marboutin et R. Le Brun ont été nommés chevaliers du Mérite agricole;

L'Académie des Sciences a décerné à M. P. Bonneville un prix Montyon (arts insalubres) pour son mastic à base de zinc, destiné à remplacer le mastic au minium de plomb pour l'obtention des joints;

M. Ferreira Ramos a fait don de 28 f pour le fonds de secours.

M. le Président adresse à ces collègues les félicitations et les remerciements de la Société.

M. le Président dépose sur le bureau la liste des ouvrages reçus depuis la dernière séance; cette liste sera insérée dans un prochain bulletin.

M. de Timonoff, Président de la Commission d'organisation du Onzième Congrès International de Navigation, l'a informé que notre Délégué, M. de Bovet, serait régulièrement inscrit sur la liste et sa nomination portée à la connaissance des membres du Onzième Congrès.

M. de Timonoff a également adressé un certain nombre de brochures relatives à ce Congrès et qui sont à la disposition des membres de la Société.

M. M. Dibos a la parole pour sa communication sur les *Installations de sécurité à bord des tanksteamers (navires-citernes).*

M. Dibos montre tout d'abord, par de curieux et multiples exemples, les dangers pouvant résulter de l'inobservation des règles de l'ordinaire prudence en ce qui a trait aux logements des huiles minérales et essences chargées en vrac. Puis il aborde l'importante question de la construction des tanksteamers et des voiliers-tanks chargeant en quantité très considérable le pétrole en vrac, et indique les intéressantes améliorations apportées dans ces navires spéciaux destinés à accomplir, en toutes saisons, de longues et quelquefois dures traversées sur les mers les plus diverses et sous toutes les latitudes.

M. Dibos énonce les accidents maritimes notables dont les causes et effets ont attiré plus particulièrement l'attention des Ingénieurs et mentionne les excellents procédés appliqués aujourd'hui pour en prévenir et les retours et les dangers.

M. Dibos compare le nombre de sinistres maritimes survenus par rapport au nombre de tanksteamers et voiliers-tanks actuellement à flot et en conclut qu'aujourd'hui, grâce aux mesures de sécurité énergiques et radicales mises en vigueur, la navigation spéciale de ces bâtiments, vrais dépôts flottants, offre beaucoup moins de dangers qu'autrefois.

Au cours de son exposé et outre différentes projections de gabarits, de plans et de vues de navires et de tanksteamers et voiliers-tanks, à flot, en route, etc., M. Dibos projette des clichés originaux pris à bord d'un tanksteamer naviguant par gros temps au milieu de l'Atlantique Nord.

Ces photographies, inédites, montrent l'aspect d'un de ces navires, long de 90 m cependant, et qui semble tout petit entre deux énormes lames ayant 250 m de crête en crête et environ 14 m de creux.

M. le Président remercie M. Dibos de son intéressante communication qui met si bien en lumière les progrès incessants réalisés par les constructeurs dans l'agencement de ces réservoirs flottants et qui ont amené une si remarquable diminution des risques de mer.

M. A. Rodrigue a la parole pour sa communication sur *les Wagons dynamométriques :*

Il expose quelles sont, à son avis, les conditions que doit remplir un wagon dynamométrique, dit quelques mots du premier dynamomètre de la Compagnie du Nord et décrit plus particulièrement le wagon actuel de cette Compagnie.

Passant au réseau de l'Est, il rappelle la lettre par laquelle M. Perdonnet manifestait au Président de la Société des Ingénieurs Civils le désir qu'il fût procédé à des expériences en vue de déterminer la résistance à la traction des véhicules de chemins de fer et des locomotives. Il cite, en passant, le remarquable mémoire de MM. Vuillemin, Guebard et Dieudonné, rappelle sommairement le premier wagon de l'Est ayant servi à leurs expériences et termine par une rapide énumération des appareils qui furent étudiés pour le deuxième wagon de l'Est par M. Marcel Deprez et mis au point par MM. Gerhardt, Flaman, Napoli et Barbey.

De la description des deux wagons du P.-L.-M, il retient surtout les appareils de tamponnement et d'attelage, permettant l'enregistrement des efforts de traction ou de compression et appelle l'attention sur l'enregistreur de la direction du vent relatif.

Le wagon de l'Ouest le retient un peu plus longtemps parce que c'est le premier qui trace automatiquement une courbe des vitesses. M. Rodrigue donne quelques renseignements sur le principe de cet appareil imaginé par MM. Gauthier et Digeon et cite quelques détails de sa construction. Il montre, enfin, le principe du totalisateur de travail qui existait déjà dans le second wagon de l'Est et qu'on retrouve dans presque tous les wagons qui ont suivi.

L'examen du wagon Paris-Orléans donne l'occasion de décrire l'indicateur de vitesse Amsler ainsi que le dispositif servant à transformer en un mouvement de rotation uniforme le mouvement essentiellement variable de l'essieu.

Passant à l'étranger, M. Rodrigue décrit rapidement le wagon dynamométrique de l'État belge, tout récemment pourvu de perfectionnements intéressants et qui a reproduit une grande partie des installations du P.-O.; il donne quelques renseignements sur l'appareil de M. Doyen pour le tracé sur le papier d'une série de lignes donnant la direction et l'intensité du vent relatif.

Enfin, il donne le principe de quelques wagons américains dans lesquels les ressorts de traction sont remplacés par des cylindres remplis d'huile; dans ces cylindres, des pistons, reliés à l'appareil d'attelage établissent des pressions qui sont transmises à des manomètres indi-

cateurs des efforts. Dans d'autres wagons américains, les pressions sont transmises à des pistons plus petits qui compriment des ressorts à boudin et portent des crayons enregistreurs des efforts.

Comme conclusion, M. Rodrigue indique les emprunts qu'il conviendrait de faire à chacun des wagons décrits pour établir un nouveau wagon dynamométrique.

Il termine en remerciant ses auditeurs de leur bienveillante attention et aussi les diverses personnalités qui ont bien voulu l'aider à recueillir les renseignements nécessaires à sa communication.

M. le Président remercie M. Rodrigue d'avoir bien voulu décrire les ingénieuses dispositions imaginées pour enregistrer les efforts sur le crochet d'attelage de la locomotive.

Il est donné lecture en première présentation des demandes d'admission de MM. :

L. Mauduit, A. Pallez, comme Membres Sociétaires Titulaires; et de :

MM. J. André et E.-A. Viehhaeuser, comme Membres Sociétaires Assistants;

MM. P. Bachelay, H. Bastian, R. Bauret, J. Bourdel, R. Clermonté, Ed. Coursier, F. Gouin, A. Louppe, H. Kapferer, V. Marmor, P. Nolet, J. Quincy, et Ch. Street, sont admis comme Membres Sociétaires Titulaires;

MM. F. Martin, M. Vinot, comme Membres Sociétaires Assistants, et

M. C.-P. Candargy, comme Membre Associé.

La séance est levée à dix heures quarante-cinq.

L'un des Secrétaires techniques,
G. Bousquet.

PROCÈS-VERBAL

DE LA

SÉANCE DU 20 DÉCEMBRE 1907

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE

Présidence de M. E. Reumaux, Vice-Président.

La séance est ouverte à 8 heures trois quarts.

Le procès-verbal de la précédente séance est adopté.

La Société étant réunie en Assemblée générale, conformément à l'article 17 des statuts, M. L. de Chasseloup-Laubat, Trésorier, a la parole pour la lecture de son Rapport annuel sur la situation financière. Il s'exprime ainsi :

Messieurs,

Le 30 novembre 1906, les Membres de la Société étaient au nombre de 3711

Du 1er décembre 1906 au 30 novembre 1907, les admissions ont été de 172

formant un total de 3883

Pendant ce même laps de temps, la Société a perdu, par décès, démissions et radiations 189

Le total des Membres de la Société, au 30 novembre 1907, est ainsi de 3694

Il a donc diminué, pendant l'année, de 17

Cette diminution n'a rien qui doive nous étonner, car je vous la faisais prévoir l'année dernière, dans mon rapport. Votre Comité, en effet.

avait, depuis un certain temps, cru devoir surseoir à la radiation d'un certain nombre de Membres dont les cotisations étaient arriérées, en vue d'essayer auprès d'eux une dernière tentative. Pour en terminer, le Comité a dû procéder à la radiation de cinquante-cinq Membres, et il est à croire que cette année encore nous aurons également à rayer une vingtaine de Membres.

Il faut cependant remarquer que le nombre des admissions dépasse, cette année, de près de trente, la moyenne des années précédentes : cette augmentation a été, pour la plus grande partie, la conséquence de l'Excursion que la Société, sous l'impulsion de son Président, a faite, en octobre dernier, au Littoral Méditerranéen.

Nous allons maintenant passer à l'examen du Bilan.

Le Bilan au 30 novembre 1907 se présente comme suit :

L'Actif comprend :

1° Le Fonds inaliénable . . . . Fr.	524 982,90
2° Caisse (Espèces en caisse)	4 583,70
3° Débiteurs divers	66 922,09
4° Prix Henri Schneider 1917	29 722,55
5° Amortissement de l'Emprunt	3 000 »
6° Bibliothèque	11 000 »
7° Immeuble	930 912,04
Total . . . . . Fr.	1 571 123,28

Le Passif comprend :

1° Créditeurs divers . . . . Fr.	16 139,84
2° Prix divers de 1908 et suivants	14 662,15
3° Prix Henri Schneider 1917	29 722,55
4° Emprunt	559 500 »
5° Tirage obligations 1907	3 000 »
6° Coupons échus et à échoir	15 945,95
7° Fonds de secours	6 367,50
Fr.	645 337,99
Avoir de la Société	925 785,29
Total . . . . . Fr.	1 571 123,28

BILAN AU

ACTIF

1° Fonds inaliénable :

a. Legs Nozo	Prix	Fr. 6 000 »	
b. Fondation Michel Alcan	—	4 317,50	
c. Fondation Coignet	—	4 285 »	
d. Don Couvreux	—	4 857,75	
e. Legs Gottschalk	—	10 000 »	
f. Don Chevalier	—	3 969 »	
g. Don G. Canet	—	36 026,95	
h. Legs Moreaux	—	40 060,15	
i. Legs Giffard	Prix et Secours	50 372,05	
j. Donation Hersent	—	20 000 »	
k. Donation Schneider	Secours	100 512 »	
l. Don anonyme	—	6 750 »	
m. Don Normand	—	3 249,80	
n. Don Coiseau	—	11 250 »	
o. Legs Roy		873,50	
p. Legs de Hennaü		96 982,50	
q. Legs Huet		67 119 »	
r. Legs Mayer		13 612,50	
s. Legs Faliès		4 768,85	
t. Legs Meyer (nue propriété)		10 000 »	
u. Legs Hunebelle		29 976,35	
			524 982,90
2° Caisse : Solde disponible		Fr.	4 583,70
3° Débiteurs divers :			
Cotisations 1907 et années antérieures (après réduction d'évaluation)		Fr. 5 850 »	
Obligations, banquiers et comptes de dépôt		57 474,05	
Divers		3 598,04	
			66 922,09
4° Prix Henri Schneider 1917		Fr.	29 722,55
5° Amortissement de l'Emprunt			3 000 »
6° Bibliothèque : Livres, catalogues, etc.			11 000 »
7° Immeuble :			
a. Terrain		Fr. 369 160,30	
b. Construction		477 892,12	
c. Installation		35 237,08	
d. Ameublement et Matériel		48 622,54	
			930 912,04
		Fr.	1 571 123,28

30 NOVEMBRE 1907

PASSIF

1° Créditeurs divers :

Impressions, planches, croquis, divers travaux en cours.	Fr.	5 500 »	
Créditeurs divers		10 639,84	
			16 139,84

2° Prix divers 1907 et suivants :

a. Prix Annuel	Fr.	Mémoire	
b. Prix Nozo		547,20	
c. Prix Giffard 1905, prorogé 1908		3 000 »	
d. Prix Giffard 1908		3 772,80	
e. Prix Michel Alcan		125,35	
f. Prix François Coignet		161,90	
g. Prix Alphonse Couvreux		552,20	
h. Prix A. Gottschalk		600 »	
i. Prix G. Canet		3 702,55	
j. Prix H. Hersent		450 »	
k. Prix Moreaux		1 481,05	
l. Prix H. Chevalier		69,10	
			14 662,15

3° Prix Henri Schneider 1917	Fr.	29 722,55
4° Emprunt		559 500 »
5° Tirage Obligations 1907		3 000 »

6° Coupons échus et à échoir :

Nos 14 à 17.	1er janvier 1903 à 1er juillet 1904	Fr.	255,35	
N° 18.	1er janvier 1905		245,50	
N° 19.	1er juillet 1905		232 »	
N° 20.	1er janvier 1906		254,40	
N° 21.	1er juillet 1906		447,30	
N° 22.	1er janvier 1907		904,75	
N° 23.	1er juillet 1907		2 515,30	
N° 24.	1er janvier 1908		11 091,35	
				15 945,95

7° Fonds de secours		6 367,50
	Fr.	645 337,99
Avoir de la Société		925 785,29
	Fr.	1 571 123,28

Actif.

Le compte *Fonds Inaliénable*, a subi une augmentation de 3 969 f. montant de la valeur du « Prix Chevalier », fondé par la famille Chevalier en souvenir de notre regretté Collègue; elle n'avait pu figurer que pour « Mémoire » au bilan de 1906, l'opération en cours n'étant pas encore réalisée. La somme correspondante faisait partie du compte *Caisse*; elle n'a donc fait que changer de rubrique.

Le compte *Caisse* n'appelle aucune observation.

Le compte *Débiteurs divers*, est un peu supérieur à ce qu'il était à pareille époque l'année dernière, par suite de la diminution de certaines dépenses, telles que les impressions et l'augmentation de certaines recettes parmi lesquelles nous pouvons citer les locations.

Le compte *Prix Henri-Schneider 1917* suit sa marche ascendante régulière, par l'achat que nous faisons d'obligations, au fur et à mesure de l'encaissement des coupons des valeurs afférentes à ce compte; ceci nous permettra, conformément aux prévisions des donateurs, de disposer, en 1917, de la somme nécessaire pour faire face au montant des sept Prix à distribuer.

Le compte *Amortissement de l'Emprunt* n'appelle aucune observation.

Le compte *Bibliothèque* reste, comme tous les ans, évalué à la somme de 11 000 f, les dépenses afférentes à ce compte étant régulièrement amorties chaque année.

Le compte *Immeuble* a été ramené à l'évaluation de 1905. L'année dernière je vous faisais remarquer que nous avions porté à ce compte une somme de 2 600 f, reliquat de certaines dépenses faites en 1906, et dont l'amortissement devait porter sur deux exercices; ce reliquat a été amorti au cours de l'année 1907.

Passif.

Le chiffre du compte *Créditeurs divers* est de 1 000 f plus élevé que l'année dernière, provenant de ce que nous y avons inscrit la valeur de deux obligations sorties au tirage de 1906 et dont les possesseurs, malgré nos rappels, ne sont pas encore venus toucher le montant.

Le compte *Prix divers pour 1908 et suivants*, subit une légère augmentation provenant de ce que les arrérages des Prix Moreaux et Chevalier ont commencé à être encaissés d'une façon normale.

Le compte *Prix Schneider 1917*, contre-partie de la rubrique analogue à l'actif, ne retient pas l'attention.

Il en est de même de notre *Emprunt*, qui subit régulièrement chaque année, une diminution de 3 000 f, à laquelle vient, le cas échéant, s'ajouter le montant de diverses obligations qui peuvent être amorties de différentes façons.

Le compte *Tirage Obligations* est, comme chaque année, prévu pour 3 000 f. Toutefois, le remboursement des différentes dettes flottantes que nous pouvions avoir, ainsi que la plus grosse partie des dépenses d'entretien que notre immeuble exigeait après dix années de mise en service ayant été effectués, nous espérons pouvoir, par le jeu de l'amortissement prévu au moyen de nos coupons et de la somme de 3 000 f inscrite au budget chaque année, commencer à rembourser, fin 1908, un nombre d'obligations supérieur à celui des années précédentes.

Les *Coupons échus et à échoir* ne présentent aucune modification.

Enfin, *le Fonds de secours* présente un solde créditeur plus élevé que celui des années précédentes, grâce aux dons généreux qui ont été faits au cours de l'exercice.

En résumé, alors que l'avoir de la Société était, au 30 novembre 1906, de 920 293,59 f, il est actuellement de 925 785,29 f, soit une augmentation de 5 491,70 f.

Mais il y a lieu de remarquer qu'au cours de l'année, en plus des amortissements ordinaires ou prévus, s'élevant au total à la somme de 10 152,75 f, nous avons fait face à des amortissements et dépenses considérables exceptionnelles, qui se sont élevés au total à la somme de 19 383,95 f, ainsi répartie :

5 783,05 f pour paiement et amortissement de différents comptes créditeurs provenant des Exercices précédents;

4 247,35 f pour amélioration du matériel, tentures du vestibule, remplacement des tapis jusqu'au premier étage et modification des lanternes de la façade;

9 353,55 f pour les réfections diverses que nécessitait l'immeuble après une mise en service de dix années, : réfection, nettoyage et peinture de la façade sur rue, imposées par l'Administration; ravalement de la façade ouest; réfection complète du plancher de la grande salle; réparation des canalisations électriques nécessitée par les modifications et travaux ci-dessus; aménagement de nouveaux rayons à la Bibliothèque, par suite de l'augmentation, sans cesse croissante, du nombre des volumes qu'elle renferme, etc.;

Le tout s'élevant à la somme susindiquée de 19 383,95 f, entièrement amortie au cours de l'Exercice.

Si à ce chiffre nous ajoutons celui de 5 491,70 f, représentant notre augmentation nette d'actif, vous serez heureux de constater, Messieurs,

que le résultat de notre Exercice s'est, en réalité, soldé par un excédent de 24 875,65 f, excédent exceptionnel dû, pour une certaine part, à la rentrée de nos cotisations arriérées et, pour le surplus, à l'augmentation des recettes du chapitre « Locations ».

Je dois en terminant, rappeler que c'est à l'initiative de notre Président, M. Cornuault, que nous devons l'embellissement de notre salle des séances par l'installation du magnifique panneau décoratif dû au pinceau de notre Collègue, M. Pierre Vauthier, ancien élève de l'École Centrale. Notre Président a généreusement offert cette œuvre à la Société, et je suis heureux, comme Trésorier, de pouvoir l'en remercier ici.

Je dois également mentionner le nom de l'un de nos doyens, M. J. Gaudry, qui, cette année encore, nous a remis 1 000 f pour notre fonds de secours, don auquel sont venus s'ajouter ceux de M. M. Darcy, J. Royer, Mme Vve Monchot, Grosdidier, Prugnaud, Ferreira Ramos, qui nous ont remis diverses sommes s'élevant au total à 223,90 f.

M. le Président demande si quelqu'un désire présenter des observations.

Personne ne demandant la parole, M. le Président met aux voix l'approbation des Comptes qui viennent d'être présentés.

Les Comptes sont approuvés à l'unanimité.

M. le Président dit qu'il est sûr d'être l'interprète des Membres de la Société en adressant de sincères félicitations à M. le Trésorier pour la façon claire et précise avec laquelle il a établi les comptes qui viennent d'être présentés.

Il le remercie pour les services dévoués et continus qu'il rend à la Société en surveillant ses intérêts.

M. le Président rappelle que, dans la présente Assemblée, il y a lieu de procéder, pour la sixième fois, au tirage de six obligations pour remboursement de l'emprunt de 1896.

Il demande à l'Assemblée de désigner, avec l'un des Secrétaires techniques, deux Scrutateurs pour procéder à ce tirage.

Sont désignés : MM. A. de Bovet, R. Soreau, et Fr. Clerc, Secrétaire technique.

Le tirage est effectué dans une salle contiguë.

M. le Président donne connaissance des numéros des Obligations de l'emprunt qui viennent de sortir, et qui seront remboursables à partir du 1er janvier 1908.

Ces numéros sont les suivants : 233, 330, 518, 622, 767, 1 193.

Puis il est procédé à l'élection des Membres du Bureau et du Comité à nommer en remplacement des Membres sortant fin 1907.

Ces élections ont donné les résultats suivants :

Vice-Président (devenant Président en 1909) : M. E. A. Barbet.

Ire Section

Travaux publics et privés.

MM. J.-B. Hersent. *Président.*
A. Abadie. *Membre.*
M. Dibos. —

IIe Section

Industrie des Transports.

MM. R. Dubois. *Membre.*
G. Blum. —

IIIe Section

Mécanique et ses applications.

MM. Ch. Compère. *Président.*
Bertrand de Fontviolant. *Membre.*
G. Leroux. —

IVe Section

Mines et Métallurgie.

MM. P. Jannettaz. *Membre.*
L. Baclé. —

Ve Section

Physique et Chimie industrielles.

MM. L. d'Anthonay. *Membre.*
Ed. Lamy. —

VIe Section

Industries électriques.

MM. J. Bénard. *Membre.*
L. Lorin. —

La séance est levée à 11 h. 25 m.

L'un des Secrétaires techniques,

G. Bousquet.

MOTEUR EXTRA-LÉGER A EXPLOSION

PAR

M. R. ESNAULT-PELTERIE

Dans les moteurs légers actuels, et même dans les simples moteurs d'automobiles, les pièces de fatigue travaillent à un taux extrême. Beaucoup de constructeurs n'hésitent pas pour l'acier à dépasser 18 kg par millimètre carré et atteignent même 20 kg. Il est juste de remarquer que la métallurgie nous fournit actuellement des aciers admirables, qui, tout en ayant jusqu'à 10 0/0 d'allongement, conservent des limites élastiques de 110 kg; mais il faut également considérer que, dès qu'un coussinet de tête de bielle prend du jeu, des chocs se produisent à chaque explosion entre cette tête de bielle et le vilebrequin et que ces chocs, si faibles soient-ils, multiplient considérablement la fatigue déjà énorme imposée au métal.

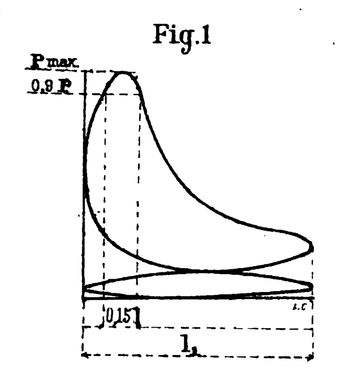
CONCEPTION DE NOTRE MOTEUR

Pour toutes ces raisons il nous a semblé dès le premier examen que la voie qui devait nous conduire à réaliser un moteur léger n'était pas celle de la réduction exagérée de la section des pièces. Il est évidemment fort intéressant de faire un moteur extra-léger, mais encore faut-il que ses pièces résistent. Trop de moteurs sont baptisés légers qui ne peuvent fonctionner que quelques minutes. Le nôtre devant nous servir personnellement pour nos essais d'aviation, nous avons tout d'abord songé à ce qu'il soit pratique et ne nous occasionne aucune difficulté.

Nous étant donc imposé, avant toute chose, la solidité, nos efforts ont porté sur une meilleure répartition des forces dans le temps.

Voici ce que nous entendons :

Considérons un diagramme de moteur à essence (*fig. 1*) ; toutes nos pièces doivent évidemment être calculées pour les efforts qu'elles vont supporter au moment de l'explosion ; or, sur le diagramme, traçons une parallèle à l'axe des x qui corresponde aux neuf dixièmes de cette pression maxima et évaluons le temps qui sépare les deux points où le diagramme coupe cette abscisse ; ce temps est peu supérieur au dixième de la course d'explosion. Or donc, si nous réfléchissons qu'une course d'explosion est suivie de trois courses neutres, nous sommes forcés de convenir que notre pièce, bielle ou vilebrequin, ne se trouve travailler aux neuf dixièmes de sa force que pendant un trentième du temps total environ ; c'est évidemment une assez mauvaise utilisation de la matière. Utilisation d'autant plus déplorable, au point de vue du poids, que l'on se trouve naturellement dans la nécessité d'égaliser le couple moteur par un volant très lourd.



Pour obtenir un effort plus régulier, il faudrait arriver à ce que les explosions soient très rapprochées : c'est du reste ce qui a lieu dans les moteurs à 4 cylindres et à 6 cylindres ; mais comme chaque cylindre possède son maneton particulier et une portion de carter à lui spéciale, la critique que nous venons de faire subsiste ; elle ne cesserait d'exister que si nous parvenions à produire cette succession d'explosions sur le même maneton.

Nous ne pouvons réaliser cette condition qu'en disposant nos cylindres en étoile autour de l'axe de rotation du vilebrequin. Faisons donc actuellement abstraction des conditions pratiques de réalisation d'un tel moteur et considérons uniquement les conditions théoriques de son fonctionnement.

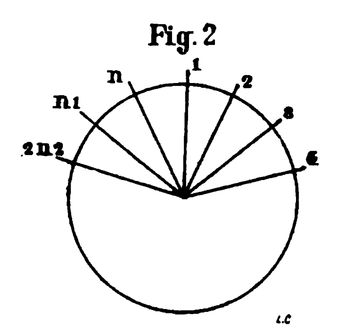
Ordre de travail des cylindres.

Nous avons admis *a priori* que notre moteur allait être très léger, il va donc être du plus haut intérêt pour nous de supprimer le volant toujours lourd et, par ce fait, il va falloir que nos

explosions se trouvent très exactement réparties sur le cycle complet de fonctionnement. Ayant adopté le fonctionnement à quatre temps, ce cycle se compose de deux tours. Supposons donc nos cylindres dessinés dans leur position radiale autour de l'axe, et numérotons-les : 1, 2, 3, (N — 2), (N — 1), N, dans le sens des aiguilles d'une montre *(fig. 2)*.

La condition qu'il nous faut réaliser est donc d'obtenir en deux tours l'allumage de tous les cylindres en évitant qu'au second tour l'allumage se répète dans les mêmes cylindres qu'au premier.

Deux solutions se présentent : la première serait d'allumer successivement tous les cylindres dans leur ordre naturel, 1, 2, 3, etc., (N — 1), N, pendant le premier tour, le second se faisant à vide. Dans ce cas, naturellement, les explosions seraient extrêmement mal réparties dans le temps et, pour ce fait, cette dispositoin doit être rejetée. Nous sommes donc conduits à ne faire allumer les cylindres que de deux en deux, ceux qui vont travailler pendant le second tour devant être ceux qui sont restés inactifs pendant le premier.



Comme le second tour va commencer par le n° 2, il faut, pour conserver notre rythme, que celui qui termine le premier tour soit celui qui précède le n° 2 de deux rangs. Ce cylindre est précisément le n° N.

Ainsi donc, quel que soit le nombre des cylindres, leur action devra avoir lieu dans l'ordre 1, 3, 5, 7, etc., (N — 2), N, pendant le premier tour. Au second tour ce seront les numéros 2, 4, 6, etc., (N — 3), (N — 1), qui vont travailler. En somme, pendant le premier tour ce vont être tous les cylindres d'ordre impair qui vont travailler et au contraire tous ceux d'ordre pair au second tour. On voit que la première série comprend le cylindre N et que de ce fait le nombre N lui-même, qui est celui des cylindres, doit être un nombre impair.

Ainsi donc, nous nous trouvons dorénavant fixé par le raisonnement pur, sur la disposition à adopter. Nous la résumerons ainsi : il nous faut un nombre impair de cylindres disposés en étoile autour d'un maneton unique.

Distribution.

Comment donc maintenant allons-nous pouvoir disposer notre ou nos cames pour effectuer la distribution desdits cylindres? Il va de soi qu'un arbre à cames ordinaire tournant deux fois moins vite que le moteur, peut remplir les conditions requises, mais ce dispositif obligerait à des commandes compliquées. La réflexion nous a conduit à l'adoption d'une came unique pour tous les cylindres. Admettons tout d'abord que cette came tourne en sens contraire du moteur; cherchons quelle doit être sa vitesse de rotation.

Considérons le cas général d'un moteur à N cylindres, N étant impair, et appelons α l'angle $\frac{2\pi}{N}$ que font entre eux les axes de deux cylindres consécutifs.

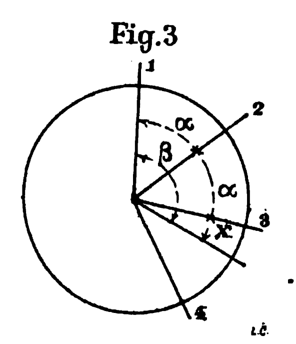
Prenons comme repère sur la came, par exemple, un bossage d'échappement, et supposons au temps 0 ce bossage en regard du cylindre n° 1.

Entre deux allumages successifs, par exemple, entre l'allumage du n° 1 et celui du n° 3, puisque le n° 2 n'allumera qu'au second tour, le moteur a tourné d'un angle 2α. Il faut qu'à ce moment le bossage de la came vienne en regard du n° 3. Admettons que la came a tourné d'un angle x, ce bossage fait donc sur la came avec le premier considéré un angle :

$$\beta = 2\alpha + x. \qquad [1]$$

Quels que soient du reste N et x, il faut évidemment qu'au bout de deux tours de moteur ce soit le second bossage qui vienne remplacer le premier dans ses fonctions vis-à-vis du cylindre n° 1.

Fig.3



Nous voyons donc que l'angle $(2\alpha + x)$ est déterminé par deux nécessités :

1° Il faut évidemment qu'il soit une fraction de 2π ;

2° Il faut qu'au bout de deux tours de moteur la came ait tourné de β.

Or, si en deux tours de moteur, soit 4π, la came tourne de β,

l'angle x dont elle a tourné pendant que le moteur ne tournait que de 2α est tel que :

$$\frac{\beta}{x} = \frac{4\pi}{2\alpha} = \frac{2N\alpha}{2\alpha} = N,$$

d'où :

$$x = \frac{\beta}{N},$$

et, comme :

$$\beta = 2\alpha + x = \frac{4\pi}{N} + \frac{\beta}{N},$$

$$(N - 1)\beta = 4\pi,$$

$$\beta = \frac{4\pi}{(N-1)} = \frac{2\pi}{\left(\frac{N-1}{2}\right)}.$$

Nous voyons ainsi qu'il nous faut une came à $\frac{N-1}{2}$ bossages et comme celle-ci doit tourner de $\frac{4\pi}{N-1}$ quand le moteur tourne de deux tours, soit 4π, sa vitesse doit être $(N - 1)$ fois plus petite que celle du moteur.

Supposons maintenant que nous voulions au contraire que cette came tourne dans le même sens que le moteur, l'équation [1] va seule se trouver modifiée et devient :

$$\beta = 2\alpha - x.$$

Nous avons toujours : $\frac{\beta}{x} = N.$

Ce qui nous donne :

$$\beta = 2\alpha - x = \frac{4\pi}{N} - \frac{\beta}{N}.$$

D'où nous tirons : $(N + 1)\beta = 4\pi.$

Et :

$$\beta = \frac{4\pi}{(N+1)} = \frac{2\pi}{\left(\frac{N+1}{2}\right)}.$$

Nous déduisons de ceci que dans le cas où notre came tourne dans le même sens que le moteur, il nous va falloir la munir de $\frac{(N+1)}{2}$ bossages et la faire tourner $(N+1)$ fois moins vite que le vilebrequin.

Équilibrage.

Dans un moteur ainsi disposé en étoile, l'équilibrage serait excellent. Considérons, en effet, la valeur des forces d'inertie des pièces animées d'un mouvement alternatif, ceci pour un seul cylindre. Cette valeur est représentée par la formule bien connue :

$$F = M\omega^2R(\cos\theta + \frac{R}{l}\cos 2\theta),$$

où R représente le rayon de manivelle et l la longueur de la bielle, ceci en ne considérant que les deux premiers termes du développement en série. θ représentant l'angle que fait à chaque instant la manivelle avec l'axe du cylindre considéré.

Voyons d'abord ce que cette formule va nous donner pour les forces d'inertie du premier ordre, c'est-à-dire celles qui sont représentées par le premier membre :

$$F_1 = M\omega^2R\cos\theta.$$

Considérons donc à un instant donné le maneton faisant un angle θ avec le cylindre n° 1 ; il fera un angle $(\theta + \alpha)$ avec le n°. 2 et ainsi de suite, et posons :

$$M\omega^2R = \varphi.$$

Les efforts d'inertie dans les cylindres, et dirigés selon leurs axes seront respectivement :

Cylindre 1 : $\varphi\cos\theta$,

— 2 : $\varphi\cos(\theta + \alpha)$,

— 3 : $\varphi\cos(\theta + 2\alpha)$,

etc.

Ces efforts, projetés sur l'axe de la manivelle *(fig. 4)* donnent :

1 : $\varphi \cos^2 \theta$,

2 : $\varphi \cos^2 (\theta + \alpha)$,

3 : $\varphi \cos^2 (\theta + 2\alpha)$.

. . . .

$n - 1$: $\varphi \cos^2 (\theta + (N - 2)\alpha)$,

n : $\varphi \cos^2 (\theta + (N - 1)\alpha)$.

Or comme : $\cos^2 a = \frac{1}{2} (\cos 2a + 1)$.

Nous obtenons, au lieu des expressions précédentes :

Cylindre 1 : $\frac{\varphi}{2} (\cos 2\theta + 1)$,

— 2 : $\frac{\varphi}{2} [\cos 2(\theta + \alpha) + 1]$.

. . . .

— (N — 1) : $\frac{\varphi}{2} [\cos 2(\theta + (N - 2)\alpha) + 1]$,

— N : $\frac{\varphi}{2} [\cos 2(\theta + (N - 1)\alpha) + 1]$.

La somme nous donne :

$$F_1 = N \frac{\varphi}{2} + \frac{\varphi}{2} [\cos 2\theta + \cos 2(\theta + \alpha) + \dots \cos 2(\theta + [N - 1]\alpha)],$$

Le terme entre parenthèses est une somme de cos d'arcs en progression arithmétique.

Si, dans une telle série d'arcs, nous appelons le premier a, le

nombre des arcs N, la raison de la progression h, la somme de leurs cos est exprimée par la formule :

$$\Sigma \cos (a, \text{etc.}) = \frac{\sin \frac{Nh}{2} \cos \left[a + (N-1)\frac{h}{2}\right]}{\sin \frac{h}{2}} \qquad [2]$$

Appliquons cette formule au cas présent, nous voyons que le terme :

$$\sin \frac{Nh}{2} = \sin N\alpha = \sin 2\pi = 0,$$

car : $$\frac{h}{2} = \alpha.$$

Le numérateur étant nul, sans que le dénominateur le soit, cette fraction qui représente la somme des cos est donc nulle elle-même.

Projetons maintenant toutes ces forces sur un axe perpendiculaire au précédent, leurs projections respectives vont devenir :

Cylindre 1 : $\varphi \cos \theta \sin \theta,$

— 2 : $\varphi \cos (\theta + \alpha) \sin (\theta + \alpha),$

. . . .

— N : $\varphi \cos [\theta + (N-1)\alpha] \sin [\theta + (N-1)\alpha].$

Or : $$\cos a \sin a = \frac{1}{2} \sin 2a.$$

Nous sommes donc amenés, en faisant la somme, à avoir en facteur une somme de sin d'arcs en progression arithmétique.

Avec les mêmes symboles que précédemment, cette somme est représentée par :

$$\Sigma \sin (a, \text{etc.}) = \frac{\sin \frac{Nh}{2} \sin \left[a + (N-1)\frac{h}{2}\right]}{\sin \frac{h}{2}}$$

Cette somme est nulle pour la même raison que précédemment, et comme cette fois je n'ai aucun terme indépendant, le total de l'expression est nul.

La résultante des efforts normaux des manetons est donc nulle.

Et seul nous reste le terme constant $N \frac{\varphi}{2}$ qui s'exerce radialement.

L'effort d'inertie qui agit sur le maneton est donc rigoureusement constant et son équilibrage serait mathématiquement réalisable.

Étudions maintenant les forces du second ordre représentées par le second membre de la formule, c'est-à-dire :

$$F_t = M\omega^2 R \frac{R}{l} \cos 2\theta.$$

Posons : $$M\omega^2 \frac{R^2}{l} = \varphi'.$$

En projetant sur l'axe du maneton, nous avons respectivement pour chaque cylindre :

Cylindre 1 : $\varphi' \cos 2\theta \cos \theta$;

— 2 : $\varphi' \cos 2(\theta + \alpha) \cos (\theta + \alpha)$.

Etc.

Or : $$\cos 2a \cos a = \frac{1}{2} \cos a + \frac{1}{2} \cos 3a.$$

Ce qui nous donne :

Cylindre 1 : $\varphi' \left(\frac{1}{2} \cos \theta + \frac{1}{2} \cos 3\theta\right)$;

— 2 : $\varphi' \left(\frac{1}{2} \cos (\theta + \alpha) + \frac{1}{2} \cos 3(\theta + \alpha\right)$.

Ou :

$$\frac{\varphi'}{2} \{ \Sigma [\cos \theta + \cos (\theta + \alpha) + \cos (\theta + 2\alpha) \ldots \text{etc.}]$$
$$+ \Sigma [\cos 3\theta + \cos 3(\theta + \alpha) + \cos 3(\theta + 2\alpha) + \ldots \text{etc.}] \}$$

Or, les deux quantités sous le signe Σ sont nulles, comme précédemment, pour cette raison que α est une fraction de 2π. Ce qui, dans l'expression de la première formule, nous introduit en numérateur (voir la formule 1, page 613) :

$$\sin \frac{Nh}{2} = \sin \frac{N\alpha}{2} = \sin \pi = 0;$$

et dans la seconde :

$$\sin \frac{Nh}{2} = \sin \frac{3N\alpha}{2} = \sin 3\pi = 0.$$

Nous voyons ainsi que la projection de la résultante des efforts de second ordre sur l'axe de la manivelle est nulle.

Si l'on effectuait de même cette projection sur un axe perpendiculaire, on constaterait qu'elle est également nulle.

Ainsi donc, dans un moteur où les cylindres en nombre impair seraient disposés radialement autour du maneton, l'équilibrage des forces du premier ordre serait seul à envisager, et cet équilibrage se ferait rigoureusement par une masse située à une distance de l'axe égale à celle de la manivelle, en sens inverse de celle-ci et d'une valeur :

$$M = \frac{N}{2} m,$$

m représentant la masse des pièces animées d'un mouvement alternatif dans un cylindre.

Conditions de réalisation pratique.

Envisageons maintenant les conditions de construction pratiques d'un moteur basé sur le précédent principe et dont le nombre de cylindres serait de cinq.

Il va de soi que l'on pourrait trouver le moyen de grouper cinq cylindres en étoile autour du même maneton, mais puisque nous sommes dans le domaine de la pratique, il faut nous soumettre à d'autres contingences, telles par exemple que le graissage. Naturellement, dans les conditions envisagées plus haut, les cylindres qui se trouveraient tournés en bas seraient toujours envahis par l'huile, leur rendement serait grandement affecté et leur allumage précaire. Seuls, des dispositifs compliqués permettraient d'obtenir la lubrification convenable, mais un tel système ne pourrait que nuire, par sa complexité même, au fonctionnement général.

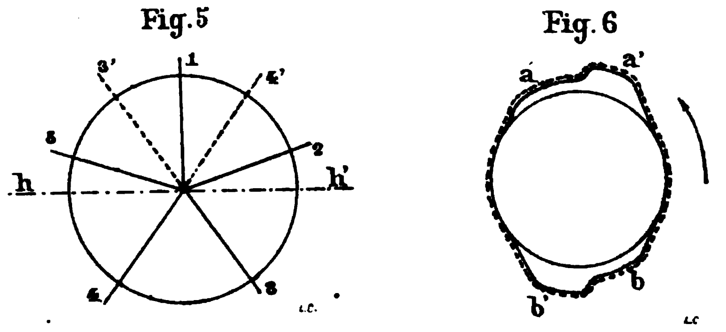
En somme, nous nous trouvons pratiquement dans l'obligation de ne pas disposer de cylindres le fond en bas; comment

donc allons-nous pouvoir satisfaire à cette condition tout en restant dans celles de notre précédente étude ?

Imaginons que nous divisons nos cylindres en deux groupes, en coupant la figure par un plan horizontal, passant par l'axe de rotation (*fig. 5*).

Dans le groupe supérieur nous aurons, par exemple, les cylindres 5, 1, 2, et dans le groupe inférieur les cylindres 3 et 4. Supposons maintenant que nous transportions le groupe inférieur dans un plan parallèle à celui des cylindres supérieurs et légèrement en arrière de celui de la figure; faisons-les maintenant tourner de 180 degrés, ils viendront se placer derrière les cylindres 5, 1, 2, en 3′ et 4′, suivant les bissectrices des angles des cylindres du premier groupe.

Dans cette rotation et pour ne pas changer les temps d'action des cylindres qu'elle intéresse, nous sommes obligés de supposer



un maneton spécialement affecté au groupe que nous déplaçons et de faire tourner également ce maneton de 180 degrés, nous voyons ainsi que nous allons nous trouver avoir un vilebrequin à deux coudes décalés de 180 degrés comme sur un deux-cylindres ordinaire; l'un des manetons supportera l'effort des trois premiers cylindres, le second celui des deux autres.

Voyons maintenant ce que va devenir la came dans le cas présent. Dans l'étude que nous avons faite au commencement du cas général, nous avons vu que notre came doit porter $\frac{(N-1)}{2}$ bossages, ce qui, dans ce cas particulier, nous donne deux bossages. Il va de soi que nous allons être forcés de décaler notre came en même temps et du même angle que nous avons décalé notre second groupe de cylindres, c'est-à-dire de 180 degrés. Imaginons donc une seconde came accolée à la première, laquelle came correspond au groupe de deux (*fig. 6*) et faisons

tourner cette came autour de son axe de 180 degrés; comme elle porte deux bossages équidistants, décalés eux-mêmes de 180 degrés, le bossage b' de la seconde came va tomber sur le bossage a de la première, et le bossage b sur le bossage a'; nous voyons que les bossages décalés coïncidant avec les bossages primitifs, il nous sera inutile de modifier notre came et que notre moteur va fonctionner avec une came simple à deux bossages tournant quatre fois moins vite et en sens inverse du moteur.

Équilibrage de ce moteur.

1° Groupe de deux cylindres.

Les mêmes formules que nous avons précédemment employées vont nous donner, avec les mêmes symboles et procédés de calcul :

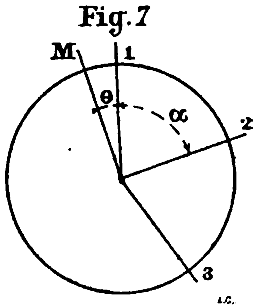
En prenant toujours :

$$M\omega^2R = \varphi$$

et en nous basant sur ce que :

$$\cos^2 a = \frac{1}{2}(\cos 2a + 1). \qquad [3]$$

Pour valeurs des projections sur la manivelle *(fig. 7)* :

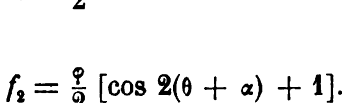


$$f_1 = \varphi \cos^2 \theta;$$

$$f_2 = \varphi \cos^2 (\theta + \alpha);$$

d'après la formule [3] :

$$f_1 = \frac{\varphi}{2}(\cos 2\theta + 1);$$



$$f_2 = \frac{\varphi}{2}[\cos 2(\theta + \alpha) + 1].$$

La somme de ces forces est :

$$F_2 = 2\,\frac{\varphi}{2} + \frac{\varphi}{2}\,[\cos 2\theta + \cos 2(\theta + \alpha)]\,;$$

comme :

$$\cos a + \cos b = 2 \cos \frac{a+b}{2} \cos \frac{a-b}{2},$$

nous pouvons écrire :

$$F_2 = \varphi + \frac{\varphi}{2}\,[2 \cos (2\theta + \alpha) \cos \alpha],$$

ce qui donne, en mettant entre parenthèses les termes constants :

$$F_2 = \varphi + (\varphi \cos \alpha) \cos (2\theta + \alpha). \qquad [4]$$

Le terme périodique est $\cos (2\theta + \alpha)$ et sa période est fonction de 2θ.

2° ÉQUILIBRAGE DU GROUPE DE TROIS CYLINDRES.

La même marche nous donne pour valeurs des projections :

$$f_3 = \varphi \cos^2 (\theta + 2\alpha),$$

$$f_4 = \varphi \cos^2 (\theta + 3\alpha),$$

$$f^5 = \varphi \cos^2 (\theta + 4\alpha),$$

ou

$$f_3 = \frac{\varphi}{2}\,[\cos 2(\theta + 2\alpha) + 1],$$

$$f_4 = \frac{\varphi}{2}\,[\cos 2(\theta + 3\alpha) + 1],$$

$$f_5 = \frac{\varphi}{2}\,[\cos 2(\theta + 4\alpha) + 1].$$

Fig. 8

La somme de ces forces est :

$$F_3 = \frac{3}{2}\,\varphi + \frac{\varphi}{2}\,[\cos 2(\theta + 2\alpha) + \cos 2(\theta + 3\alpha) + \cos 2(\theta + 4\alpha)].$$

La somme des cos entre parenthèses est, d'après la formule [2], p. 617, représentée par :

$$\frac{\sin \frac{3}{2} 2\alpha \cos [(2\theta + 4\alpha) + 2\alpha]}{\sin \alpha}.$$

Or, comme $$5\alpha = 2\pi,$$

$$\cos (2\theta + 6\alpha) = \cos (2\theta + \alpha);$$

donc : $$F_3 = \frac{3}{2} \varphi + \left[\frac{\varphi}{2}\left(\frac{\sin 3\alpha}{\sin \alpha}\right) \cos (2\theta + \alpha)\right].$$

Mais, dans le cas particulier :

$$3\alpha = \pi + \frac{\alpha}{2} \quad \text{et} \quad 2\alpha = \pi - \frac{\alpha}{2};$$

donc : $$\sin 3\alpha = - \sin 2\alpha.$$

Et nous pouvons écrire $\frac{\sin 3\alpha}{\sin \alpha} = - \frac{\sin 2\alpha}{\sin \alpha}$.

Mais : $$2 \sin a \cos a = \sin 2a,$$

d'où : $$\frac{\sin 2a}{\sin a} = 2 \cos a.$$

Notre expression devient donc :

$$F_3 = \frac{3}{2} \varphi - \left(\frac{\varphi}{2} 2 \cos \alpha\right) \cos (2\theta + \alpha). \qquad [5]$$

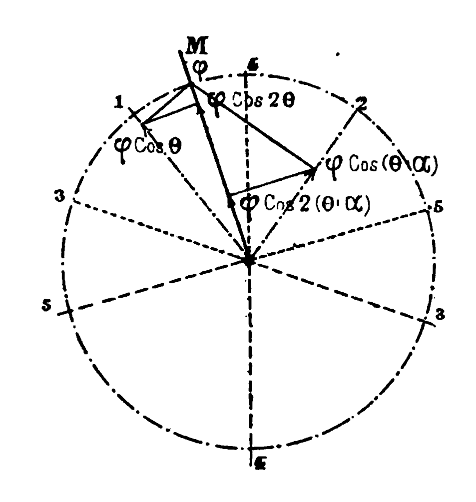
Il est facile de voir que si nos cylindres étaient tous en étoile, la somme de ces forces serait bien, comme nous l'avions obtenu directement :

$$\frac{2}{2} \varphi + \varphi \cos \alpha \cos (2\theta + \alpha) + \frac{3}{2} \varphi - \varphi \cos \alpha \cos (2\theta + \alpha) = \frac{5}{2} \varphi.$$

Fig. 9

Cylindre N.1
Cylindre N°2
Groupe de 2
$M\omega^2 R$
Valeurs de l'inertie
Effets tangentiels
Valeur de θ
0
0 $\frac{\alpha}{2}$ α $\frac{\pi}{2}$ 2α π 3α $\frac{3\pi}{2}$ 4α 2π 5α
Groupe de 3
Cylindre N°3
Cylindre N°4
Cylindre N°5
Valeurs de $(2\theta+\alpha)$
0 $\frac{\pi}{2}$ π $\frac{3\pi}{2}$ 2π $\frac{5\pi}{2}$ 3π $\frac{7\pi}{2}$

J. Courtier



Sur la figure 9, nous avons évalué cos α et construit les courbes représentatives de ces efforts :

$$\alpha = \frac{360 \text{ degrés}}{5} = 72 \text{ degrés}, \qquad 3\alpha = 216 \text{ degrés}.$$

$$\sin \alpha = 0{,}952, \qquad \sin 3\alpha = 0{,}588,$$

$$\cos \alpha = 0{,}309.$$

$$F_2 = \varphi + 0{,}309\,\varphi \cos(2\theta + \alpha),$$

$$F_3 = 1{,}5\,\varphi - 0{,}309\,\varphi \cos(2\theta + \alpha).$$

Pour bien comprendre ce diagramme, il faut se pénétrer de ce fait que nos forces sont projetées sur le plan passant par l'axe des manetons et qu'elles sont de sens contraire. Elles vont donc toujours être de sens opposé et c'est ainsi que celles correspondant au groupe de deux sont figurées au-dessus de l'axe des abscisses, celles correspondant au groupe de trois sont affectées du signe — et disposées au-dessous.

La courbe supérieure du groupe de deux oscille autour de la valeur φ et la courbe inférieure autour de la valeur $\frac{3\varphi}{2}$. Ce sont ces valeurs moyennes que nous allons équilibrer, comme nous le verrons plus loin.

Si nous projetions les efforts normalement au maneton, nous trouverions par les mêmes procédés :

$$F_2 = \varphi \cos \alpha \sin(2\theta + \alpha),$$

$$F_3 = -\varphi \cos \alpha \sin(2\theta + \alpha),$$

Ces efforts ne provoquent que des variations du couple, peu importantes par rapport à ce dernier.

Supposons donc que nous commencions par équilibrer les deux termes constants des formules [4] et [5].

Cet équilibrage est évidemment réalisable avec deux masses respectivement placées dans les plans de symétrie des deux groupes. Il faut néanmoins remarquer que les deux forces en jeu sont parallèles, de sens contraire, et inégales, elles admettent donc une résultante. Nous pourrons faire notre équilibrage

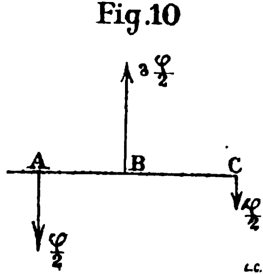
en neutralisant cette résultante au moyen d'une masse unique appropriée.

Cette masse sera égale à la différence des deux précédentes, soit :

$$\frac{3\varphi}{2} - \frac{2\varphi}{2} = \frac{\varphi}{2}.$$

La distance BC à laquelle elle doit se trouver de F_3 *(fig. 10)*, doit avoir pour valeur :

Fig.10



$$BC = AB \frac{F^2}{F_3 - F_2} = 2AB.$$

Maintenant que ces efforts constants sont neutralisés, envisageons les valeurs des efforts variables qui vont nous rester.

Ils vont être égaux pour les deux manetons et être de sens opposé. Leur expression sera :

Effort radial : $(\varphi \cos \alpha) \cos (2\theta + \alpha)$,

Effort tangentiel : $(\varphi \cos \alpha) \sin (2\theta + \alpha)$.

Ces deux valeurs représentent les projections d'une force constante égale à $(\varphi \cos \alpha)$, dont la vitesse angulaire par rapport au maneton serait double de celle de ce dernier par rapport aux cylindres. Et comme nous avons projeté sur la manivelle, cette force tournerait par rapport à elle à une vitesse double de celle des cylindres. Ceci revient à dire que par rapport aux cylindres, la force constante $(\varphi \cos \alpha)$ tourne en sens contraire du maneton et avec une vitesse angulaire égale à celle de ce dernier.

Ces forces seraient dirigées dans le sens de l'axe du maneton et vers l'extérieur pour :

$$\cos (2\theta + \alpha) = 1;$$

soit : $(2\theta + \alpha) = 0$ ou 2π;

dans ce cas donc : $\theta = -\frac{\alpha}{2}$ ou $\left(\pi - \frac{\alpha}{2}\right)$.

Cette position correspond au passage du maneton dans le plan vertical correspondant au cylindre n° 1.

Une telle force serait donc équilibrable, mais nécessiterait un dispositif un peu délicat tel qu'engrenages, etc.

La pratique montre qu'il est superflu de compliquer le moteur ainsi et que ces forces n'occasionnent aucune perturbation notable.

Moteur à sept cylindres.

Équilibrage.

Maintenant que nous avons vu comment se comporte un moteur à cinq cylindres, étudions ce qui se passera pour un sept-cylindres.

Ici les cylindres seront divisés en deux groupes ayant respectivement trois et quatre cylindres.

Au point de vue de l'équilibrage nous n'entrerons pas dans les mêmes détails de calcul que pour le cas précédent.

On obtient par la même méthode :

1° Pour le groupe de 3 :

$$F_3 = \frac{3}{2}\varphi + \frac{\varphi}{2}\frac{\sin 3\alpha}{\sin \alpha}\cos(2\theta + 2\alpha);$$

2° Pour le groupe de 4 :

$$F_4 = \frac{4}{2}\varphi - \frac{\varphi}{2}\frac{\sin 3\alpha}{\sin \alpha}\cos(2\theta + 2\alpha).$$

Les valeurs moyennes de ces deux forces sont respectivement :

$$\frac{3}{2}\varphi \quad \text{et} \quad \frac{4}{2}\varphi,$$

lesquelles valeurs moyennes nous devrons nous contenter d'équilibrer.

Il faut du reste remarquer que dans le cas présent nous avons :

$$\frac{\sin 3\alpha}{\sin \alpha} = \frac{0,433}{0,784} = 0,554,$$

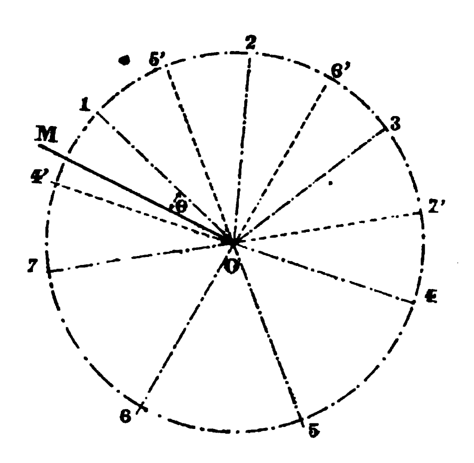
ce qui donne pour la valeur de la variation :

$$\frac{\varphi}{2} \times 0,554 = 0,277\,\varphi;$$

cette variation est donc plus faible que dans le cas précédent et, par suite, l'équilibrage est meilleur.

Fig. 11

Cylindre N°1
Cylindre N°2
Cylindre N°3
$\frac{3}{2}\varphi$
0 α $\frac{\Pi}{2}$ 2α 3α Π 4α 5α $\frac{3\Pi}{2}$ 6α 2Π
$\frac{4}{2}\varphi$
$-\frac{\Pi}{2}$ 0 $\frac{\Pi}{2}$ Π $\frac{3\Pi}{2}$ 2Π $\frac{5\Pi}{2}$ 3Π $\frac{7\Pi}{2}$
Cylindre N°4
Cylindre N°5
Cylindre N°6
Cylindre N°7
Valeurs de $(2\theta+2\alpha)$
L. Courtier



Les restes des forces qui ne seront pas équilibrés donnent lieu au même phénomène que dans le cas précédemment envisagé pour les cinq-cylindres.

Les courbes figurant les variations de ces forces sont représentées *(fig. 11)* selon la même disposition que pour la figure 9.

ÉTUDE DU COUPLE.

Il est maintenant intéressant de voir comment vont en réalité se composer les explosions sur les manetons, cette étude est indispensable pour la détermination de la surface des coussinets de têtes de bielles.

Pour ce faire, traçons un diagramme à la manière ordinaire *(fig. 12)*, en portant en ordonnées les pressions et en abscisses les déplacements du piston. Traçons, de plus, la courbe d'inertie du piston et de la partie de la bielle que nous pouvons considérer comme faisant corps avec lui. En faisant la résultante de ces deux courbes, nous obtenons les efforts réels que le piston va exercer à chaque instant sur la bielle.

Nous pouvons maintenant tracer par points deux courbes, dont l'une représente les efforts tangentiels que subit le maneton en fonction du temps, la seconde pourra représenter de la même manière les efforts radiaux. En un mot, nous décomposons à chaque instant la force qui agit sur la bielle en deux autres qui sont toujours perpendiculaires l'une à l'autre dans l'espace.

Pour étudier le couple de notre moteur, nous allons tracer deux axes de coordonnées et, sur l'axe horizontal du temps, porter une longueur correspondant à deux révolutions.

Sur cette longueur, nous allons figurer les sept explosions, les sept compressions, ainsi que les efforts d'inertie qui agissent pendant l'échappement et l'admission de chaque cylindre; le tout réparti exactement en fonction du temps.

C'est ainsi que l'on obtient les courbes de la figure 1 *(Pl. 152)*; celle-ci se rapporterait au premier cas que nous avons étudié, celui où les sept cylindres se trouveraient sur le même maneton.

Ces courbes ne représentent que les efforts tangentiels, mais en tenant compte de toutes les forces d'inertie.

Il est facile de faire en chaque point la somme algébrique de tous ces efforts, et l'on obtient ainsi la courbe tracée en trait gras qui représente les variations du couple moteur en fonction du temps.

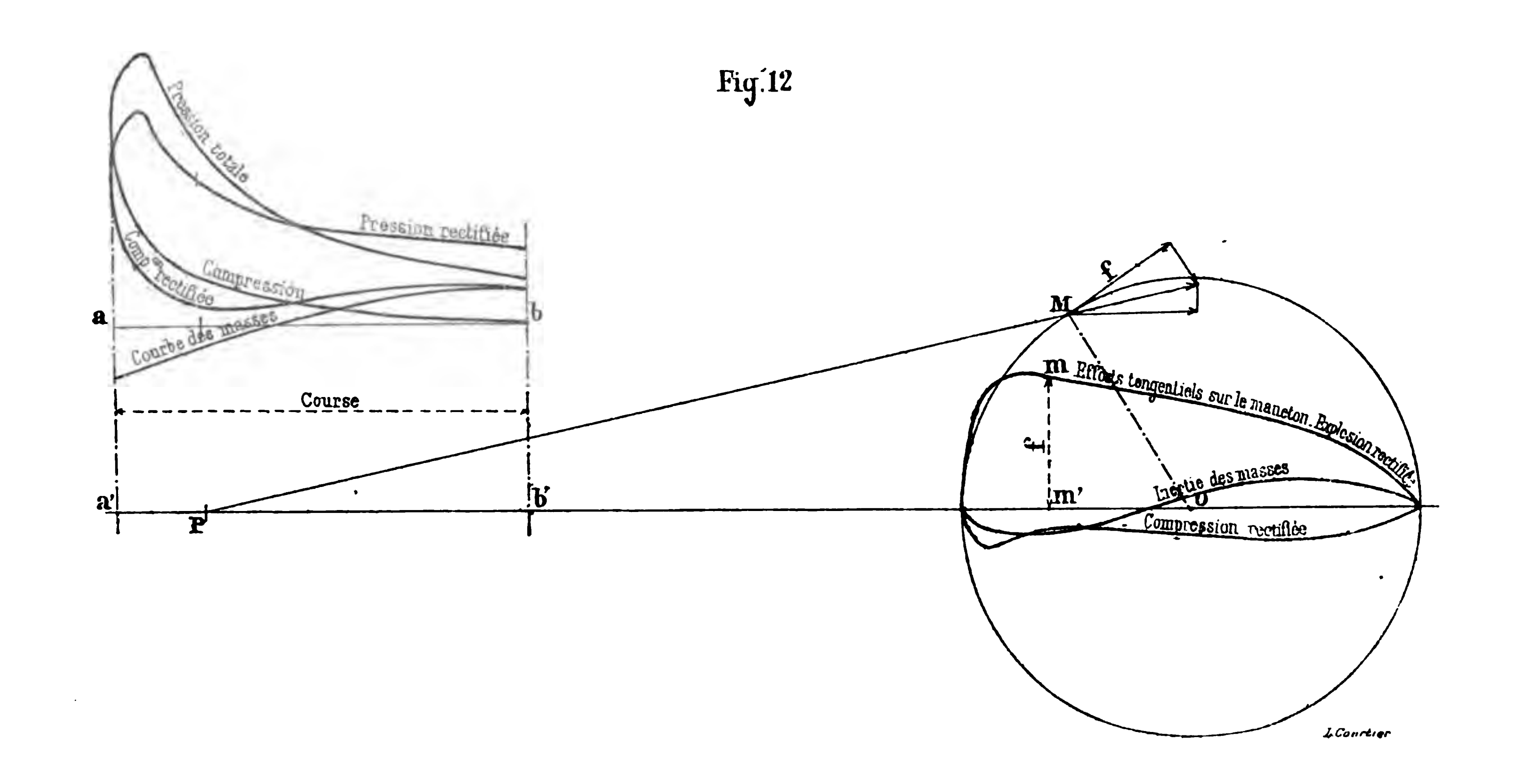

Pression totale
Pression rectifiée
Compression
Compon rectifiée
Courbe des masses
a
b
Course
a'
b'
P
M
f
m
Efforts tangentiels sur le maneton. Explosion rectifié.
f
m'
Inertie des masses
O
Compression rectifiée
L. Courtier

Fig. 12

De ces couples, il est facile de déduire la puissance du moteur et de voir si les chiffres ainsi obtenus cadrent avec ceux que donneraient les formules usuelles appliquées à chaque cylindre isolément.

Une vérification est même intéressante à faire : il est facile de voir sur la figure 1 *(Pl. 152)* que deux tours du moteur comprennent sept variations de même forme du couple, le travail représenté par l'espace compris entre la courbe résultante, l'axe des x, et deux ordonnées distantes de $\frac{2\pi}{7}$, doit être égal à la différence des travaux de l'explosion et de la compression d'un cylindre.

Ceci revient à dire que l'aire de la courbe *abcd* doit être égale à la différence des aires des courbes *aef* et *ghi*. Nous l'avons vérifié de la manière suivante : les trois courbes en question furent découpées dans une lame de zinc, puis pesées; la somme des poids de la courbe résultante et de la courbe de compression était égale au poids de la courbe d'explosion à 0,001 près. Cette vérification est plus précise qu'elle peut le sembler au premier abord ; il faut en effet remarquer que les variations d'épaisseur d'un métal laminé de 1,5 mm n'atteignent pas 0,02 mm et que la faible erreur qui en pourrait résulter est encore atténuée par ce fait que sur une certaine surface les différences se neutralisent.

Si maintenant nous voulons connaître les forces maxima qui agissent sur nos têtes de bielles, il nous faut refaire deux nouveaux diagrammes où nous représenterons indépendamment ce qui se passe pour chacun des manetons; mais cette fois nous joindrons à la représentation des forces tangentielles celle des forces radiales. Nous obtenons ainsi, pour le maneton à trois cylindres, la figure 2 *(Pl. 152)* et, pour le maneton à quatre cylindres, la figure 3 *(Pl. 152)*.

Sur ces figures, nous pouvons par tâtonnements déterminer les endroits où l'effort doit être maximum et, aux environs de ces points, recomposer nos deux forces radiale et tangentielle; nous obtenons ainsi la courbe *abc* de la figure 2 *(Pl. 152)* qui nous donne pour le point *b* la valeur de cet effort.

Nous pouvons aussi évaluer l'effort moyen tangentiel, l'effort moyen radial et, à l'aide de ces deux valeurs, nous donner une idée de l'effort moyen réel.

Ces deux données nous suffisent amplement pour déterminer

les surfaces que devront avoir nos coussinets de têtes de bielles. Il faut remarquer que, pour le groupe à quatre cylindres, les efforts d'inertie compensent dans une proportion non négligeable ceux de l'explosion et que, de plus, certains cylindres agissent au même instant en sens contraire, ce qui est encore extrêmement favorable au bon fonctionnement des coussinets de têtes de bielles. Ceux-ci, du reste, grâce à la disposition en étoile des cylindres, se trouvent travailler sur une surface circulairement bien plus grande que dans un monocylindre. Sur celui-ci, en effet, ce n'est que la moitié supérieure du coussinet qui est intéressée; dans le cas présent, c'est un angle de 283 degrés pour le groupe de trois et de 334 degrés pour le groupe de quatre. La pratique nous a du reste montré que, dans un semblable cas, des coussinets de même dimension ne fatiguent pas plus avec trois cylindres qu'avec un seul, et c'est à peine si, pour quatre cylindres, on se trouve dans l'obligation d'augmenter la surface active.

DISPOSITIFS PRATIQUES DE CONSTRUCTION

Nous prendrons comme exemple le sept-cylindres, tout ce qui sera dit pouvant également être appliqué au cinq-cylindres.

Vilebrequin.

Le vilebrequin est, comme nous l'avons vu, à deux manetons décalés de 180 degrés. La disposition des cylindres en éventail ayant permis d'engager ces derniers les uns dans les autres dans le sens de la longueur *(fig. 6 et 7, Pl. 152)*, il en est résulté un raccourcissement notable dudit vilebrequin, raccourcissement qui diminue naturellement d'autant les couples subis par chaque section.

Les portées extrêmes sont percées de trous ne laissant que 2,5 mm de métal; le maneton du groupe de trois est percé d'un trou en forme d'égale résistance. Le maneton du groupe de quatre n'est pas percé et conserve un excès de matière brute d'usinage; cet alourdissement est nécessaire pour permettre des conditions pratiques d'équilibrage. En effet, sans cette précaution, la masse unique d'équilibrage tomberait si loin en dehors du moteur, qu'il serait pratiquement impossible de la fixer con-

venablement sur le vilebrequin. Le bras transversal qui relie les deux manetons est naturellement évidé en double T.

Le vilebrequin ainsi allégé pèse 2 500 kg pour 35 HP et nulle part il ne fatigue à plus de 15 kg par millimètre carré en marche; il est en acier chrome-nickel et est travaillé tout trempé et revenu bleu.

Paliers.

Les paliers fixes sont très largement calculés comme surface. Le palier côté came ne fatigue pas à plus de 57 kg par centimètre carré au moment de l'explosion et celui qui est destiné à recevoir une hélice à 42,500 kg. Il ne faut pas perdre de vue que, dans une hélice aérienne de 2 m de diamètre tournant à 1 500 tours à la minute, un balourd de 10 g à l'extrémité d'un pale développe une force centrifuge de 24,600 kg; des causes accidentelles peuvent très facilement donner naissance à des efforts bien autrement considérables.

Les paliers eux-mêmes sont constitués par des plateaux en acier qui ont un double but : tout d'abord ils ont un diamètre tel qu'après le démontage de l'un d'eux le vilebrequin peut se sortir du carter en passant par l'ouverture. De plus, l'épaulement qu'ils portent sur leur pourtour et par où ils s'appuient sur le carter en aluminium présente à ce dernier une surface de contact considérable et telle qu'il ne puisse se mater sous l'effort. Les surfaces de contact ne travaillent qu'à 1,800 kg par millimètre carré, même en tenant compte de ce qu'elles sont des cylindres et non des plans; il est bien évident qu'à un pareil taux le métal ne saurait se détériorer.

Bielles.

Les bielles offrent des particularités intéressantes en raison de ce fait que l'une des têtes doit recevoir trois bielles et l'autre quatre.

Il faut que l'une des bielles soit solidaire de la tête dans chaque groupe et que cette tête soit disposée pour recevoir le nombre convenable de biellettes articulées.

La figure 8 *(Pl. 152)* représente, mieux que toute description, les bielles du moteur à sept cylindres; en somme, chacune d'elles porte des articulations analogues aux pieds de bielles que nous allons décrire plus loin.

Pieds de bielles.

Pour réduire le poids des extrémités des biellettes, nous avons visé naturellement à réduire leur volume sans réduire leur surface active; dans ce but, elles sont percées d'un trou dans lequel passe un axe trempé; l'extérieur du pied est également tourné de telle sorte qu'il peut travailler dans la pièce qui le reçoit à la façon d'une rotule.

Le tout est soigneusement rodé de manière que toutes les surfaces travaillent. Il faut néanmoins remarquer que jamais, au point de vue strict, deux surfaces ne peuvent sur la même pièce porter également et simultanément; mais celle qui va fatiguer le plus va s'user plus rapidement que l'autre et, par suite, son travail diminuera; finalement donc, l'usure égalise automatiquement le travail des deux surfaces.

Cette disposition offre également un autre avantage : au moment de l'explosion, la rotule travaille à la compression; le pied de bielle prend donc appui à la fois sur ses faces extérieure et intérieure. Nous arrivons ainsi à obtenir une grande surface de contact qui assure le maintien de l'huile entre les pièces.

En effet, dans ces conditions, la pression par centimètre carré ne dépasse pas 180 kg pendant l'explosion, ce qui, pour des pieds de bielles est un taux de fatigue extrêmement modéré.

Les bielles ne travaillent à la traction qu'un court instant, à la fin de l'échappement et au commencement de l'admission: c'est à ce moment seulement que le pied de bielle ne trouve comme appui que la surface réduite de son axe, mais les efforts dus à l'inertie sont très faibles en comparaison de ceux de l'explosion, et la surface intéressée à ce moment est encore largement suffisante à les supporter.

Le corps des bielles et biellettes est naturellement en double T: leur section est telle que leur fatigue ne dépasse pas 12 kg par millimètre carré.

Cylindres.

Les cylindres refroidis par ailettes sont, grâce à la soupape spéciale qui sera décrite plus loin, complètement symétriques autour de leur axe, ils sont fixés sur le carter par trois boulons

munis d'écrou et contre-écrou. Le contre-écrou est fileté à un pas plus serré que l'écrou, ce dispositif rendant toute espèce de déblоquage impossible.

Le carter en aluminium porte des embrèvements destinés à recevoir les embases des cylindres; il est d'une seule pièce et porte en dessous un large regard qui permet l'accès facile de son intérieur et des pièces y contenues.

Les pistons sont tout en acier pris dans la masse; le pied de bielle ne peut donc être fixé à la manière ordinaire. Il est reçu par une pièce spéciale qui est vissée sur le fond du piston et arrêtée par une vis entre cuir et chair.

Ce dispositif permet l'usinage facile du piston dans la masse d'acier étiré, évitant ainsi tous les ennuis de l'acier coulé dont on ne peut jamais être sûr.

De plus, les fonds de pistons sont ordinairement de forte épaisseur. Avec notre forme, au contraire, le fond est appuyé sur une base annulaire placée environ à mi-rayon, et sa fatigue est diminuée dans une très large proportion.

Soupapes.

Les soupapes sont d'une forme spéciale; elles servent, en effet, à la fois à l'admission et à l'échappement.

Dans ce but, elles sont munies, comme on peut le voir sur la figure 9 *(Pl. 152)*, d'une sorte de tiroir cylindrique sur leur face externe; ce tiroir porte des trous *a* et une collerette *b*.

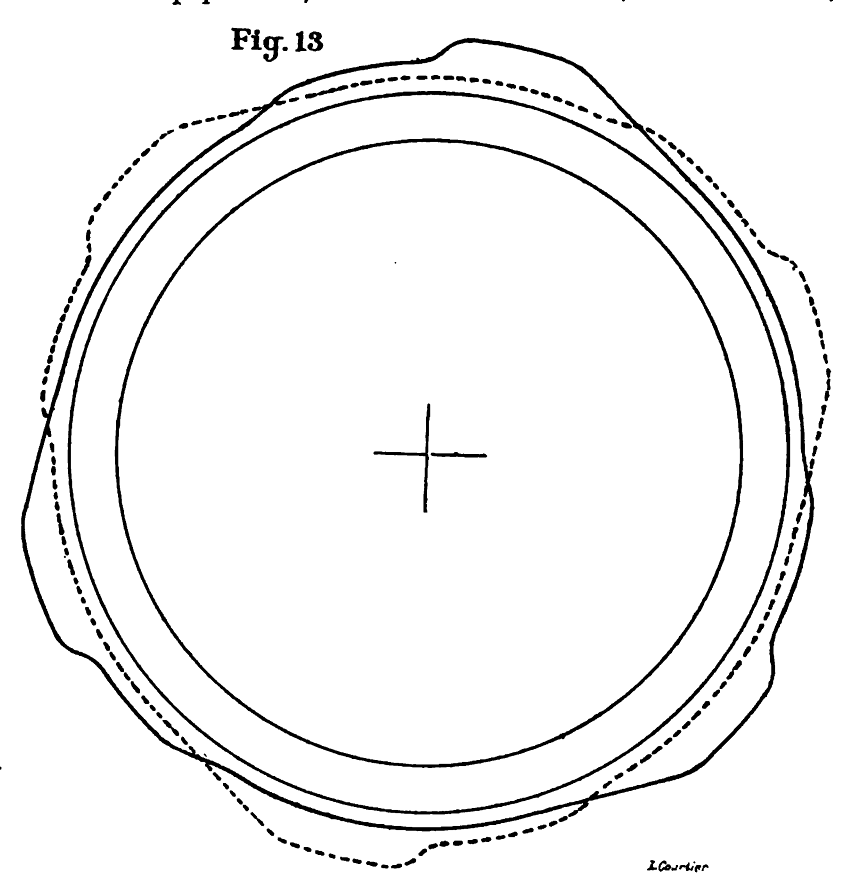
Supposons que la came fasse lever ladite soupape de 4 mm, les trous *a* demeurent masqués par le guide fixe *c* et l'échappement se produit par l'espace annulaire *d*. Admettons maintenant que la soupape lève encore de 4 mm, les trous *a* vont être démasqués et la collerette *b* va venir obturer l'orifice annulaire *d* d'échappement. Les trous *e* s'étant trouvés démasqués en même temps que ceux du bas, le cylindre va se trouver en communication avec l'espace *f*, qui est relié au carburateur par la pipe *g*, et l'admission va pouvoir se produire; lorsqu'elle sera terminée, la soupape, retombant directement sur son siège, se refermera complètement.

L'un des points particuliers de ce dispositif, qui n'apparaît pas tout d'abord, est que la surface de guidage entre le tiroir *h* de la soupape et le boisseau fixe *c* est soustraite à l'action des gaz

d'échappement qui provoquerait des encrassements et des grippages. De plus, les gaz d'admission la refroidissent énergiquement et, grâce à ce fait ainsi qu'au tiroir qui la consolide, cette soupape ne subit jamais en marche d'échauffements ni de gondolements, et elle porte toujours sur toute sa surface. De plus, grâce au maintien d'une température raisonnable, son siège se pique bien moins rapidement que ceux des soupapes ordinaires, et elle fonctionne bien mieux et plus longtemps sans rodage que ces dernières.

Cames.

Notre soupape étant, comme nous l'avons vu, à double levée,


Fig. 13

les cames vont être munies de deux bossages successifs : le premier, peu saillant, mettra la soupape à la position évacuation,

le second, la levant davantage, lui fera prendre la position admission.

Pour un moteur 7 cylindres, par exemple, tel que nous l'avons envisagé en premier lieu, c'est-à-dire avec tous les cylindres sur le même maneton, nous sommes conduits, selon la formule de la page 614, à munir notre came de trois séries de bossages et à lui donner, par suite, la forme de la figure 13. Mais, en réalité, nous avons séparé nos cylindres en deux groupes; supposons donc les cames du deuxième groupe dessinées en pointillé derrière celles du premier; il va falloir les faire tourner de 180 degrés en même temps que les cylindres correspondants. Nous sommes ainsi conduits à la forme de came de la figure 13. Nous avons ainsi, à proprement parler, deux cames accolées, mais comme elles peuvent être montées sur le même plateau, au point de vue de leur commande elles se comportent comme une seule.

Elles sont donc solidairement entraînées par un pignon auxiliaire.

Commande des soupapes.

On peut se rendre compte sur la figure 6 *(Pl. 152)* que les tiges de commande des culbuteurs du groupe de trois cylindres se trouvent dans le prolongement des poussoirs qui les actionnent, mais, par contre, celles du groupe de quatre sont inclinées, ceci pour ne pas employer de trop grands culbuteurs. Pour éviter tout coincement dans le fonctionnement de ces derniers poussoirs, nous avons pris la précaution de décaler leurs axes vers les cylindres, de telle sorte que le prolongement de la tige de commande vienne toujours passer par la surface extérieure frottante du poussoir. De cette manière, ce dernier ne se trouve jamais soumis à des efforts transversaux, qui le feraient coincer, et ne fatigue pas son guide; la surface de ce dernier est, du reste, largement suffisante à supporter la composante de pression qu'elle subit du fait de l'inclinaison de la tige.

Tuyauterie.

La tuyauterie offre certaines particularités en raison de la disposition des cylindres et de leur ordre de travail.

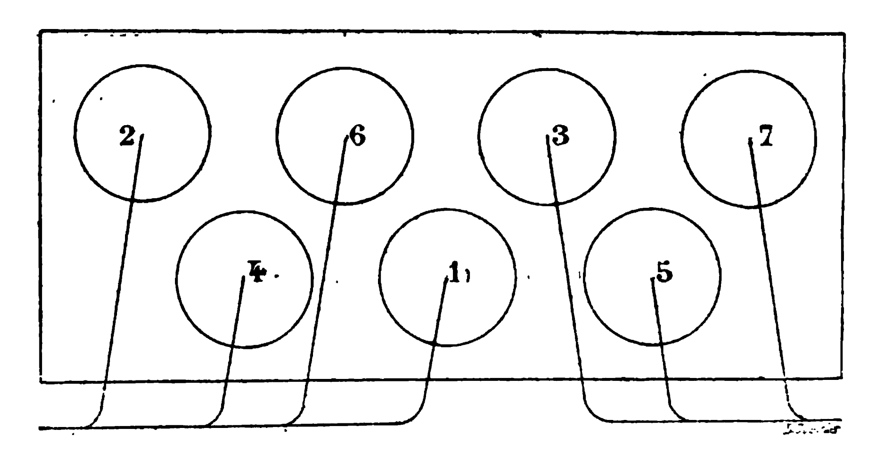
Si nous les supposons vus par-dessus et déployés sur le plan

horizontal, nous obtenons la figure 14 et leur ordre de travail sera 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7.

Cet ordre nécessite naturellement une tuyauterie assez délicate à concevoir au premier abord. La pratique nous a conduits à la faire en deux parties, en utilisant deux carburateurs séparés.

L'une de ces tuyauteries alimente les cylindres 2, 4, 6, 1, et l'autre les cylindres 3, 5, 7. Nous avons pensé avoir intérêt à mettre le cylindre n° 1 dans le groupe 2, 4, 6; en effet, dans ce

Fig. 13



groupe et avec la disposition adoptée, le cylindre n° 2 qui se trouve être le premier à travailler ne doit aspirer les gaz qu'à travers une assez courte tuyauterie ; il aurait donc tendance à s'alimenter mieux que les autres. Mais, étant donné l'ordre des aspirations, il produit une lancée des gaz dans la tuyauterie qui prépare pour ainsi dire l'aspiration du n° 4, lequel favorise également le travail du n° 6 et de même pour le n° 1. Si le groupe de trois admettait dans un ordre analogue, on pourrait craindre, étant donnée sa tuyauterie plus courte, qu'il ne donne mieux que legroupe de quatre; mais les cylindres qui le composent travaillent au contraire en ordre inverse et cette différence contrebalance les avantages qu'il pourrait avoir d'autre part.

Allumage.

Pour produire l'allumage d'un tel moteur, un seul procédé simple est admissible, c'est celui de la distribution à haute tension.

Il va de soi que celle-ci pourrait être effectuée exactement de la même manière que la commande de la distribution par une came isolante fixée sur la came de distribution et portant trois plots adducteurs de courant. Quelque élégante qu'eût été cette solution, les exigences de la pratique nous ont conduits a séparer complètement la distribution de l'allumage et à la mettre en dehors du moteur pour éviter, notamment, son envahissement par l'huile de graissage.

Le distributeur est simplement constitué par un disque en ébonite, tournant deux fois moins vite que le moteur; ce disque porte une touche métallique qui vient passer en regard de plots dont chacun correspond à un cylindre et distribue le courant à ces derniers. Grâce à ce procédé, il est évidemment facile de répartir le courant que fournit une bobine dont le trembleur marche continuellement. Une bobine dans de telles conditions ne consomme du reste sensiblement pas davantage que lorsqu'on prend soin d'interrompre le primaire: il faut remarquer, en effet, que lorsque notre moteur atteint 1 500 tours, il nous va falloir produire 88 allumages par seconde.

Il serait également possible de produire l'allumage par magnéto à haute tension, le courant étant toujours réparti entre nos cylindres par le même dispositif. Il faudrait alors que la magnéto tourne à une vitesse 7/4 de celle du moteur; en effet, si cette magnéto est capable de fournir deux étincelles par tour, elle tourne d'un angle π entre deux allumages; le moteur dans le même temps tourne de $2 \times \frac{2\pi}{7}$, le rapport des angles décrits dans le même temps est donc 4/7 et la magnéto doit bien tourner aux 7/4 de la vitesse du moteur.

Refroidissement.

Les cylindres sont refroidis par ailettes; ce procédé, au premier abord, semble devoir augmenter le poids spécifique du moteur. En réalité, il permet de supprimer les chemises d'eau sujettes à

des fuites, le radiateur, la pompe sujette à des déréglages, et surtout l'eau au poids de laquelle on ne songe jamais. Tout bien considéré, nous estimons que les ailettes ne sont pas plus lourdes qu'une circulation d'eau et surtout que ce procédé de refroidissement ne comporte aucun organe indéréglable.

La surface extérieure refroidissante se trouve être environ huit fois plus grande que la surface intérieure, et pour notre moteur de 30 × 35 HP 7 cylindres, une vitesse de 45 km est largement suffisante à assurer le refroidissement sans le secours du moindre ventilateur ; d'ailleurs, si le moteur doit être enfermé sa forme se prête particulièrement à l'adjonction d'un ventilateur.

Résultats.

Voyons maintenant le résultat obtenu à l'aide de toutes ces dispositions nouvelles :

Notre type 7 cylindres 85 × 95 fait 30 × 35 HP au frein à 1 500 tours ; il pèse 47,500 kg nu et 52 kg avec son allumage, sa tuyauterie et ses carburateurs; ceci correspond donc par cheval à un poids de 1,360 kg nu et 1,500 kg en ordre de marche.

Nous pensons que ce résultat n'a jamais été atteint avant nous, car c'est, à notre avis, le poids en ordre de marche qui seul doit être retenu, et nous le pensons surtout intéressant par ce fait que le premier moteur que nous avons construit d'après ces données a été mis en service sitôt sa sortie de l'atelier et nous a servi à faire de durs essais d'aviation pendant deux mois de suite, sans jamais avoir été retouché.

Les photographies de la planche 153 le montrent sous toutes ses faces et dans sa position sur l'aéroplane qu'il faisait mouvoir.

LES MÉTILLURES

ALLIAGES RESISTANT AUX ACIDES ÉTENDUS OU CONCENTRÉS, FROIDS. CHAUDS OU A L'ÉTAT DE VAPEURS

PAR

M. Ad. JOUVE.

On peut dire que la puissance d'une nation européenne se mesure à la quantité de salpêtre qu'elle emploie, bien que ce ne soit pas encore d'après la puissance militaire que se calcule ou s'impose la puissance économique.

D'une façon plus générale, on peut dire que cette puissance se mesure d'après la quantité d'acides qu'elle emploie, car les acides, constituant l'élément indispensable de toute l'industrie chimique, sont par suite le facteur le plus important de la production industrielle, donc de la puissance économique.

Or, le rôle même des acides est de servir pour des attaques de toutes sortes de produits naturels ou non, de façon à permettre l'entrée en utilisation des richesses naturelles.

Mais il faut pouvoir préparer ces acides et s'ils sont faits pour attaquer, désagréger et dissoudre, à plus forte raison ils attaqueront, désagrégeront et dissoudront les récipients dans lesquels on les préparera. C'est, en effet, un des écueils de cette fabrication, et l'un des facteurs du prix de revient des matières acides, non l'un des plus importants, est le coefficient d'usure du matériel. Ce coefficient est souvent très élevé et de très grands efforts ont été effectués pour arriver à diminuer son influence économique.

La construction des appareils pour la préparation ou la purification des acides, ainsi que pour l'opération ultérieure de leur concentration est donc une question de grand intérêt au point de vue industriel.

Nous prendrons comme base de notre étude le problème de

la concentration de l'acide sulfurique; ce que nous dirons pour lui s'appliquant aux autres acides.

Cette opération a lieu actuellement dans des appareils construits avec du matériel de différente nature; nous citerons :

1° Appareils de verre ou de porcelaine Livinstein, Négrier, Benker et Hartmann, Schaefer, Guttmann, etc.;

2° Appareils de grès et lave de Volvic;

3° Appareils de platine, platine iridié, platine doré, platine et fer, platine et plomb;

4° Appareils de plomb;

5° Appareils de fonte;

6° Appareils de silice.

1° Appareils de verre et de porcelaine.

On emploie des capsules ou des matras que l'on chauffe à feu nu, soit par l'intermédiaire d'une capsule de fonte qui sert de soutien et qui, dans le cas de rupture, permet de recueillir le liquide acide et de l'empêcher de se répandre dans le foyer en occasionnant une fumée toujours désagréable et souvent dangereuse.

La forme des capsules à bec, disposée en cascade, est la plus répandue.

Les inconvénients de ces appareils sont nombreux : d'abord leur fragilité et leur manque de réaction, vis-à-vis des coups de feu ou des refroidissements brusques; puis les dimensions forcément limitées, car, dès que l'on dépasse environ 40 centimètres de diamètre, la fabrication devient plus difficile et le prix en devient peu abordable, d'où la nécessité d'une plus grande quantité de petits appareils en batterie.

Au point de vue résistance à l'attaque, ces appareils donnent toute satisfaction.

Tels sont les appareils de Livinstein, 1894, de Négrier, 1892, de Guttmann, 1899, de Benker et Hartmann, de Schaefer.

2° Appareils de grès et de lave de Volvic.

Ceux-ci ne sont pas absolument inattaquables aux acides chauds. Il y a, en outre, une sorte de désagrégation moléculaire qui provoque quelquefois une rupture sans prévision possible. L'épaisseur des appareils est forcément très grande.

Leur fonction se fait par un rodage assez coûteux, celui par brides boulonnées est difficile.

Il est, d'autre part, délicat de refroidir ces appareils par un courant d'eau extérieur.

De plus, de même que pour le verre et la porcelaine, leur rupture provoque indépendamment de la perte de matière, un dégagement de vapeurs acides ayant de graves influences sur la santé des ouvriers.

3° Appareils de platine.

Il en existe une grande variété et tous tendent à diminuer le poids du métal précieux entrant dans leur composition et dont le prix actuel, de plus de 4000 f le kilogramme en restreint forcément l'emploi.

Tels sont :

a) Les appareils en platine pur de différentes natures;

b) Les appareils de platine et plomb, appareil de Siebert, appareils Johnson, Mathey et Cie, appareil Faure et Kessler;

c) Appareils en platine doré de Heraeus;

d) Appareils en platine et fonte : Scheurer-Kestner.

L'usure du platine croît avec la concentration de l'acide et est relativement considérable.

4° Appareils de plomb.

Le plomb ne s'attaque que très peu avec l'acide à 50 — 52 degrés, mais ne peut être utilisé pour la concentration au delà de 60 degrés B; on doit terminer la concentration dans les appareils de platine ou de porcelaine.

5° Appareils de fonte.

Contrairement au plomb, le fer est attaqué par l'acide étendu et ne l'est que très peu par l'acide concentré à condition qu'il ne contienne pas de vapeurs nitreuses.

Ce procédé est employé aux États-Unis et en Allemagne et il est presque restreint à l'acide sulfurique.

S'il s'agit d'autres acides, les difficultés sont plus grandes encore et le verre, la porcelaine, le grès, le Volvic résistent seuls,

6° Appareil en silice.

Ces appareils ont des dimensions très limitées, le prix en est extrêmement élevé pour des dimensions supérieures à 30-40 cm. De plus, ils présentent certains inconvénients réels, que l'expérience confirmera. Leur résistance acide est excellente.

En résumé, il n'y a aucun appareil pratique, inattaquable et qui, en même temps, permette la concentration depuis l'acide des chambres à 50-52 degrés jusqu'à 66 degrés B, à part la porcelaine, le verre et la silice, sauf égard à leurs dimensions minimes, de façon à effectuer une concentration ininterrompue avec le même appareil.

C'est cette question que l'on a étudiée depuis 1900 et qui n'a été résolue que dans ces dernières années, la mise au point absolue n'ayant pu être effectuée que cette dernière année 1907.

Les recherches que je vais me permettre d'exposer à la Société des Ingénieurs Civils résultent d'une observation de laboratoire, la difficulté d'attaque, pour leur mise en dissolution, des alliages dits ferrosiliciums, précisément par les acides, cette attaque étant impossible au delà d'une certaine teneur en silicium.

L'idée d'appliquer cette résistance à la construction d'appareils pour travailler les acides s'est présentée assez rapidement à l'esprit, mais nous nous sommes trouvés en présence de grosses difficultés inhérentes aux propriétés de ces alliages.

Le but à atteindre était le suivant :

Obtenir un métal (le mot métal étant pris au sens industriel du mot et non au sens chimique d'élément), qui soit inattaquable par tous les acides.

Ce métal obtenu, lui donner toutes formes désirables par coulée, car malheureusement on ne peut le laminer ou l'étirer. Un autre alliage est actuellement à l'étude répondant à ces derniers desiderata.

Cette forme obtenue, la rendre stable, c'est-à-dire non spontanément cassante.

Lui donner une résistance mécanique telle que l'on puisse en construire des appareils subissant une pression ou une tension, par exemple pour des autoclaves, appareils à vide, des ventilateurs ou des centrifugeuses.

Enfin, lui donner un prix de revient abordable.

Les alliages que nous avons employés sont des siliciures métalliques, de préférence des siliciures de fer, à teneur élevée en silicium et à l'état de siliciures complexes, le siliciure de fer restant cependant le facteur principal du mélange.

La teneur en silicium est rendue variable et à chaque cas spécial qui est proposé dans l'industrie, il est construit un alliage différent répondant au but proposé. En effet, pratiquement, il ne faut pas croire qu'il suffise de prendre un alliage quelconque à teneur de silicium suffisamment élevée pour que l'on obtienne ainsi un métal utilisable.

L'expérience a appris que les alliages de fer et silicium titrant par exemple 65 0/0 de silicium, sont pratiquement attaquables par les acides dans les conditions industrielles d'expériences, et cependant tout chimiste ayant fait l'analyse de ces alliages vous dira que l'attaque de ces produits, même porphyrisés, est impossible par les acides, serait-ce même l'acide chlorhydrique additionné de brome ou même l'acide nitrique sous pression (méthode de Carius).

Il y a là une anomalie qui ne s'explique que par l'influence du temps et de la masse ; c'est la même qui fait qu'un procédé chimique de laboratoire est généralement difficile à appliquer immédiatement dans l'industrie. L'expérience seule donne la marche à suivre. C'est cette coûteuse école que nous avons faite pendant près de trois années, et cela sur des milliers de kilogrammes, qu'il se soit agi de petits ou de grands appareils.

Le métal une fois obtenu, il faut encore lui donner la forme demandée par l'industrie. Là surviennent encore de très grandes difficultés, surtout s'il s'agit de pièces de grandes dimensions, deux mètres de diamètre par exemple, présentant une forme quelconque et pourvues de tous ces mille petits détails de construction qui doivent venir à la fonte, cloisons, brides, tubulures, ajutages, etc...

Si on essaye de prendre un ferrosilicium, à teneur même faible, tel que celui à 20-25 0/0 du commerce, on arrivera à le fondre, bien que difficilement, puis on le coulera dans un moule approprié en tenant compte des calculs de retraits. La coulée réussit peu facilement, le liquide étant d'aspect « gras » et se moulant mal ; mais supposons la pièce coulée à fond, en un moule étuvé ouvert. Une fois refroidie, même avec les plus grandes précautions possibles de refroidissement lent, si on démoule la pièce, on la trouvera en morceaux. En effet, il ne

s'agit pas là d'un alliage proprement dit, mais d'une combinaison binaire, d'un métalloïde, le silicium, et d'un métal, le fer. Il y a des différences de retraits, qui font que les objets ou les lingots cassent spontanément même au rouge. C'est là un phénomène bien connu des électrométallurgistes, qui leur rend le transport de ce ferroalliage en vrac presque impossible.

L'obtention d'un métal inattaquable aux acides et pratique à fondre, à couler et mouler se fait de la façon suivante :

Les ferroalliages employés sont préparés au four électrique par un procédé quelconque, mais avant leur sortie du four, ou pendant leur deuxième fusion, s'il s'agit d'alliages achetés dans le commerce, il est procédé à une purification absolue des produits, de façon à éliminer les impuretés; cette élimination se fait par une addition convenable pour la formation de produits volatils qui se dégagent.

Enfin, dans la poche de coulée on ajoute les diverses matières secondaires, dont nous ne donnerons pas la liste, car elle varie avec chaque application et elles constituent ce que l'on peut appeler les tours de main de fabrication. Ces métaux sont fondus préalablement au creuset chauffé au blanc, dans un four dit potager. Le mélange s'effectue avec un très grand dégagement de chaleur ; il ne reste plus qu'à couler.

Le liquide fondu est absolument fluide, bien chaud, et se moule parfaitement.

Dans quelques cas, on coule directement du four électrique dans une poche de coulée, en pratiquant les opérations précédentes, et on procède ensuite à la coulée.

Nous tenons à faire remarquer qu'il s'agit de siliciures à haute teneur en silicium, ce qui nous permet d'aborder la construction des appareils pour tous genres d'acides, aussi bien sulfuriques que chlorhydriques et azotiques, et même acétiques.

Pour l'obtention de pièces mécaniques, pour la construction des ventilateurs, d'autoclaves, etc., il est nécessaire d'employer des alliages étudiés spécialement pour la résistance mécanique.

Tous ces alliages constituent ce que nous avons appelé les *métillures*. Les caractères physiques sont : aspect de la fonte blanche, très durs, certains alliages même rayent le verre facilement.

Leur point de fusion est compris entre 1.300 et 1.500 degrés.

Leur fragilité est un peu plus grande que celle de la fonte et chose curieuse, elle diminue avec le temps.

Bien que très durs, les métillures se burinent, se tournent et se percent assez facilement, à condition d'employer des aciers spéciaux au tungstène et au tantale.

Résultats industriels obtenus.

Les efforts ont jusqu'à ce jour porté sur les appareils à concentration d'acide sulfurique et sur la condensation des vapeurs nitriques, et ces appareils sont employés actuellement en France et à l'étranger.

Quelques résultats industriels

a. — 1[er] échantillon : SO^4H^2 chaud à 22 degrés B. Perte après deux mois. 0,06 0/0
Fonte à 3 0/0 Si en deux heures. 44,6 0/0
Fonte ordinaire — 46,0 0/0

b. — 1[re] capsule pour concentration de SO^4H^2 fonctionne depuis 20 janvier 1907.
2[e] capsule, deux jours de durée pour une teneur de 3 0/0 de silicium (fonte siliceuse).

c. — Capsules en fonctionnement depuis milieu novembre 1906.

d. — Résultats comparatifs:

	a. formique	a. acétique
Étain	1	0,8
Cuivre	6	11
Plomb	6	19
Métillures pour SO^4H^2.	24	2

e. — Mines de cuivre et pyrites:
Pompe pour eaux d'écoulement des mines.

f. — Tuyau usine lyonnaise d'acide nitrique, 300 kg par jour, depuis mars 1903 encore en fonctionnement, pour la condensation directe à la sortie de la cornue à bisulfate.

g. — Agitateur de 350 kg pour mélange sulfo-acétique.
1.000 capsules pour concentration de SO^4H^2 en fonctionnement.

h. — Concentration concentrique de 10 T de 50-52 à 66 degrés couvert pour SO^4H^2.

i. — Remplacement de tuyaux de fonte, pour concentration de SO^4H^2 dans un appareil ce qui seul a permis son utilisation.

Durée deux mois avec fonte : longueur ; 2,80 m.

Les résultats qu'on vient d'exposer ont été consacrés par une sanction industrielle, par les poudreries, fabriques de dynamites, sulfuriqueries.

A titre d'exemple, on a construit une concentration de 10 t d'acide sulfurique par jour pour l'Allemagne, en remplacement d'un appareil de platine.

On a concentré de l'acide azotique de 36 à 48,5 degrés, sans formation de vapeurs nitreuses résultant des alliages.

Un autre exemple est celui de la construction d'un ventilateur à vapeurs nitreuses et sulfuriques pour tirage artificiel, débitant 250 m^3 à la minute.

Les acides sulfuriques sont concentrés directement de 50 B à 66 B, sans aucune attaque qu'un léger décapage superficiel tout à fait temporaire et qui provient d'une faible modification superficielle de ces alliages par le contact brusque avec les sables des fonderies, sables qui sont toujours riches en charbon ou en carbone amorphe.

Tels sont les quelques résultats obtenus actuellement et qui, chaque jour, augmentent en importance par suite des nombreuses études et des perfectionnements sans cesse en cours. Je terminerai en présentant mes respectueux remerciements à la Société des Ingénieurs civils pour l'accueil qu'elle a réservé à la communication de ces quelques résultats.

J'y ajouterai l'expression de ma vive reconnaissance à M. Barbet, Président de la Section de chimie, qui a bien voulu m'accorder toute sa bienveillance habituelle pour la présente étude.

SOCIÉTÉ DES FERMES FRANÇAISES DE TUNISIE

Société Anonyme au Capital de UN MILLION de Francs

SIÈGE SOCIAL : 16 bis, rue d'Autriche — TUNIS

Circulaire aux Actionnaires

JANVIER 1908

Il y a offre de vente d'actions au prix de 490 francs.
Il y a offre de vente d'obligations 500 fr. 5 o/o émission du Munchar à 495 francs.

RÉSULTATS GÉNÉRAUX DE L'EXERCICE 1907

Nous ne les connaissons pas encore d'une façon précise. Nous procédons en ce moment à l'établissement des inventaires détaillés du cheptel, du matériel et des marchandises. Aussitôt ce travail terminé le Conseil déterminera la fixation des amortissements, le prix des marchandises en magasin et arrêtera les comptes généraux tels qu'ils seront soumis à l'approbation de l'Assemblée générale des actionnaires. Dès maintenant nous pouvons annoncer, sauf événement extraordinaire et imprévu, qu'un dividende complémentaire de 10 fr. par titre pourra être distribué aux actions, et qu'une somme variant de 40 à 60.000 fr. sera consacrée aux divers amortissements.

Pour les exploitations rurales nous avons eu une augmention de récoltes de 4.000 hectolitres de vin sur 1906. Les vins du Munchar sont bien réussis, ils se sont dépouillés de bonne heure et très normalement.

Dans l'ensemble, nous ne pouvons que confirmer à ce sujet les bonnes nouvelles données dans la circulaire d'octobre 1907.

Bénéfices nets des opérations immobilières en 1907.— Ces bénéfices nets s'élèvent en dehors de l'intérêt du capital engagé à environ 62.000 francs. A Ben-Arous plusieurs ventes ont été effectuées et les événements importants dont nous vous entretenons ci-dessous, nous autorisent à espérer qu'il y aura désormais sur ce domaine des bénéfices importants à réaliser tous les ans. Les terrains Buffin laissent environ un bénéfice net de 8.875 fr. Une vente importante déjà conclue en 1907, mais non complètement réalisée, augmenterait le chiffre global de 62.000 fr. de 10.000 fr. environ pour l'exercice 1907, si elle était complètement terminée à bref délai comme nous l'espérons Le moulin de Béja, qui fournit une somme peu élevée aux bénéfices nets à cause de la faible quantité de blé travaillée dans notre première année d'essai, est susceptible de donner des bénéfices importants quand il travaillera 18 à 20.000 quintaux de blé par an.

NOUVELLES DIVERSES

Assemblée générale des actionnaires à Paris. — Sur la demande de plusieurs actionnaires, le Conseil d'administration a décidé qu'elle aurait lieu cette année à Paris. La date n'est pas encore fixée. Un avis ultérieur fera connaître la date précise et le lieu de la réunion. Ce sera probablement en fin mars.

Souscription aux actions. — Nous clôturerons probablement vers le 10 mars la souscription de la dernière émission. Il reste encore quelques titres à souscrire. Il suffit de verser le quart du montant de l'action souscrite, soit 125 fr. en souscrivant. On verse les 375 fr. restant dans un délai de deux ans aux dates choisies par le souscripteur.

Vente des vins. — L'écoulement de nos vins se fait d'une manière normale. Notre dépôt de Tunis vend toujours en moyenne 200 hectolitres par mois. Nous avons conclu un marché de 1.200 hecto. (vente en demi-gros) avec livraisons mensuelles, à un prix satisfaisant. Un concessionnaire établit un dépôt de nos vins de Saint-Cyprien à Marseille. Les vins de Saint-Cyprien de la récolte de 1906 se sont très bien conservés durant l'été dans nos cuves verrées. Malgré les difficultés inhérentes à ce commerce, nous arrivons à assurer l'écoulement de notre récolte à un prix rémunérateur. Si la mévente des vins prenait fin et si nous retirions 2 à 3 fr. de plus à l'hectolitre de notre récolte de 9.000 hectolitres, nous aurions des revenus supplémentaires importants.

Nous vous rappelons que nous expédions nos vins en France par bordelaise au prix de 20 francs l'hectolitre nu à quai Tunis, pour les rouges ; et de 25 francs pour les blancs. Nous adressons la bordelaise de 220 litres à Paris gare de Lyon et dans toutes les gares du réseau P.-L.-M. (vin logé, mais droit de circulation à la charge de l'acheteur), pour 70 francs, vin rouge, et 82 francs, vin blanc. Tous ces vins sont garantis absolument naturels et sont de la récolte de 1906. Des échantillons sont envoyés gratuitement sur demande.

Souscription aux obligations immobilières 4 1/2 pour 100. — Nous continuons à vendre nos titres au fur et à mesure de nos besoins au prix de 480 fr. On peut s'adresser directement au Siège Social pour se procurer des titres en nous envoyant les fonds par mandat-postal ou par chèques (frais d'envoi à notre charge). On trouve aussi des titres à Paris, au **Crédit Foncier d'Algérie**, 43, rue Cambon ; à la **Compagnie Algérienne**, 23, rue des Capucines ; à la **Banque Privée**, 3, rue Pillet-Will et en France dans toutes les agences de ces trois établissements.

En Belgique on peut s'en procurer à la **Banque de Reports, de Fonds publics et de Dépôts**, à Anvers.

Envoi de plans, cartes et documents. — Nous envoyons gratuitement, à toute personne qui nous le demande, les notices sur la Société, les rapports annuels des trois dernières années, une notice illustrée sur la Société renfermant les opinions diverses émises sur notre œuvre par des personnes ayant visité nos fermes, une notice spéciale sur les affaires en participations et les prêts hypothécaires, les lotissements de Ben-Arous, des divers terrains de la Société. Nous envoyons contre mandat-poste de 1 fr. par carte les cartes d'état-major sur lesquelles figurent les limites approximatives de nos domaines : 1re feuille, environs de Tunis ; — 2e feuille, Béja ; — 3e feuille, plan de Tunis. Si l'on veut recevoir ces cartes collées sur toile, ajouter 2 francs de plus par feuille.

Tunis, le 14 janvier 1908.

CHRONIQUE

N° 336.

Sommaire. — Les constructions élevées aux États-Unis. — Capacité et consommation de combustible des navires à vapeur. — Les locomotives compound articulées, système Mallet, sur les chemins de fer des États-Unis. — Le nouveau bassin du port de Rotterdam. — La catastrophe du pont de Québec.

Les constructions élevées aux États-Unis. — Dans la chronique de mars 1897, page 339, en rendant compte d'un accident d'ascenseur arrivé dans un bâtiment de vingt-deux étages, à New-York, accident causé par une circonstance insignifiante en elle-même, la rupture d'un boulon ayant déterminé une ouverture permanente dans la conduite d'eau d'alimentation de l'ascenseur; nous ajoutions que la question de l'avenir des bâtiments élevés était liée à celle de la sécurité des ascenseurs et que dans les grandes villes des États-Unis, cette dernière devait acquérir une importance de premier ordre.

Il semble qu'on soit arrivé, sous ce rapport, à des résultats complètement satisfaisants, car les constructions élevées se sont répandues considérablement sous l'influence des raisons que nous exposions dans l'article précité et qui font de l'établissement de ces constructions une véritable nécessité dans des villes comme New-York, Chicago, etc. En effet, on se tromperait fort si on considérait les bâtiments avec un grand nombre d'étages comme constituant aujourd'hui de rares exceptions.

Un document qui vient d'être publié par MM. Parker et Lee, à New-York, donne un total de 538 bâtiments de dix étages au moins au-dessus du trottoir de la rue, rien que pour New-York. Ces bâtiments se divisent comme suit d'après le nombre des étages :

Étages.	Bâtiments.	Étages.	Bâtiments.
48	1	17	2
41	1	16	19
26	2	15	19
25	3	14	18
23	2	13	13
22	4	12	169
20	9	11	101
19	2	10	161
18	9	Total	538

Cette statistique n'est même pas complète, car il faudrait y ajouter un certain nombre de bâtiments de plus de neuf étages, c'est-à-dire rentrant

dans ceux dont nous nous occupons et situés à Brooklyn. On doit remarquer dans le tableau précédent la chute rapide qui existe entre le nombre des bâtiments à 12 étages et celui des bâtiments à 13 étages : cette chute s'explique par les restrictions imposées par les règlements de voirie à New-York, pour la construction des édifices dépassant une hauteur de 150 pieds (45 m) au-dessus du niveau du trottoir.

Les deux bâtiments les plus élevés sont : la tour de la *Metropolitan Life Insurance Building*, à l'angle de la vingt-quatrième rue et de Madison Avenue, qui a 48 étages et celle de la Compagnie Singer, au coin de Broadway et de Liberty Street, qui a 41 étages. Nous allons dire quelques mots de ces deux constructions.

La première consiste dans l'addition au bâtiment existant de la Metropolitan Life Insurance C° d'une tour, dont la section horizontale occupe un carré de 22,90 × 25.92 m jusqu'à une hauteur de 150 m au-dessus du sol ; au-dessus se trouve une construction pyramidale de 28,67 m surmontée elle-même par une coupole octogonale de 21,35 m. La hauteur totale au-dessus du sol se trouve ainsi être de 200 m en nombre rond.

L'addition de ce campanile permettra de porter la superficie totale des planchers du bâtiment au chiffre imposant de 100967 m², soit près de 11 hectares ; correspondant à 1600 pièces de 70 m² en moyenne. La construction principale dont la section horizontale mesure 132,70 sur 61 m a 10 étages ; l'addition de la tour en fait, pour le moment, le bâtiment le plus élevé du monde.

Le Singer Building occupait ce rang avant la construction de la tour dont nous venons de parler ; il se compose d'un bâtiment rectangulaire au centre duquel s'élève une tour de 45 étages, atteignant la hauteur de 186,50 m au-dessus du sol. Ce campanile, dont la section horizontale a 19,80 m de côté, est surmonté d'un mât de pavillon dont la mise en place a demandé des précautions particulières. Il nous paraît intéressant d'en dire un mot ici. Ce mât a 27 m de longueur, sa base repose sur le quarante-troisième étage. Formé de tubes d'acier, il entre sur 9 m de sa longueur dans une gaine métallique qui va du plancher du quarante-troisième étage au sommet de la tour ; cette gaine est fixée à sa base dans un sabot en acier de 0,45 m de côté ; elle a 0,248 m de diamètre intérieur et se fixe à la partie supérieure de la lanterne qui forme le sommet de la tour. La partie supérieure du mât est en cinq sections de diamètre décroissant de 0,248 à 0,142 m ; les bouts se pénètrent sur une longueur de 0,50 m, sont emmanchés à force et fixés par des vis. L'extrémité du mât est formée par une pièce en fonte portant une poulie dont l'axe est monté sur billes et sur laquelle passe la drisse du pavillon ; la poulie en bronze à 0,12 m de diamètre sur 0,05 m d'épaisseur.

On conçoit que la chute de tout ou partie de ce mât, d'une hauteur de 200 m, serait une chose très dangereuse ; aussi a-t-on dû prendre de grandes précautions, non seulement pour bien le fixer, mais aussi pour le préserver de la corrosion ; ce n'était pas chose facile. Si on le peignait avant de le mettre en place, on s'exposait à ce que des éraflures de la peinture laissassent la surface du métal exposée par endroits aux intempéries. L'expérience acquise sur des bâtiments élevés indiquait que

l'action du soleil faisait craqueler la couche protectrice; il est de même de la gelée. Il fallait donc pour avoir toutes les garanties désirables : 1° employer une peinture offrant toute sécurité; 2° peindre le mât de 18 m en placé à une hauteur moyenne de 200 m.

Pour la peinture, on a choisi le voltax, un composé anticorrosif, préparé par la *Electric Cable Company*, de New-York, et pour son application on s'est adressé à M. Capelle, un spécialiste habitué à travailler sur les clochers et autres endroits élevés, qui accepta de se charger de ce travail dangereux. Pour plus de facilité, la peinture fut diluée plus que d'habitude et on en appliqua cinq couches.

Pendant ce travail, M. Capelle put faire d'intéressantes constatations. Ainsi, à ces hauteurs, on trouve que le vent a des vitesses de 16 à 64 km à l'heure, alors que la vitesse est insensible près du sol. Avec une forte brise de 60 à 120 km à l'heure, l'extrémité du mât oscillait de 0,30 m de part et d'autre de la verticale. Ce déplacement, contrairement à ce qu'on pouvait supposer, est un indice de sécurité. Une trop grande rigidité est en effet dangereuse et on cite plusieurs cas de ruptures de pièces analogues dues à l'absence de flexibilité.

Nous ne croyons pouvoir mieux terminer cette note que par l'indication d'un fait intéressant et probablement très peu connu. On sait que les grandes constructions américaines sont composées d'une ossature métallique formant squelette qui constitue la construction proprement dite et d'un remplissage de matériaux réfractaires formant les parois. La première application de cette méthode, si employée aujourd'hui, est due à William Jenney, né à Boston, qui après avoir fait ses études à l'Université d'Harward, suivit les cours de l'École centrale et en sortit en 1856 avec le diplôme d'Ingénieur. C'est en 1883 qu'il eut à construire pour la Home Insurance C°, de New-York, un bâtiment à usage de bureaux situé à l'angle de Adams et de La Salle streets, à Chicago. Le programme imposé à l'architecte était tel que les murs ne pouvaient avoir assez de résistance et qu'il fallait leur substituer des appuis métalliques. Le projet de Jenney basée sur l'emploi d'une ossature en acier, soumis aux propriétaires, amena naturellement la question : « Où existe-t-il une construction de ce genre? » et la réponse : « nulle part ». L'architecte proposa de soumettre les plans et les calculs à des constructeurs de ponts qui lui donnèrent raison. Le succès fut complet et Jenney construisit un grand nombre de bâtiments importants dans ce style. Il est mort le 16 juin dernier à Los Angeles, en Californie; il s'était distingué dans la guerre de Sécession comme officier du génie attaché aux états-majors des généraux Grant et Sherman. En 1905, il s'était retiré de la vie active et habitait depuis Los Angeles.

Capacité et consommation de combustible des navires à vapeur. — Dans son discours d'installation devant la Société des Ingénieurs et Constructeurs de navires d'Écosse, le Président, M. John Ward a appelé l'attention sur les immenses services rendus au commerce par les constructeurs maritimes. Le coût du transport a été réduit dans d'énormes proportions par l'emploi de navires pouvant recevoir de grosses quantités de marchandises et la réalisation de ce problème

n'aurait pas été possible sans les progrès réalisés dans la construction des machines et des coques. Le prix de revient d'un navire n'est pas aujourd'hui, par unité de capacité, plus de la moitié de ce qu'il était il y a seulement quinze ans. Le coût du service a été réduit à peu près dans les mêmes proportions, de sorte qu'on peut dire sans exagération qu'on tire aujourd'hui deux moutures du même sac ou, ce qui revient au même, que l'Angleterre amène actuellement de ses colonies deux boisseaux de blé pour le prix qu'elle payait auparavant pour un seul.

Le commerce universel et aussi la civilisation ont tiré un grand profit de ces progrès, car non seulement la rapidité des parcours a été augmentée tandis que le coût en diminuait, mais la réduction de la durée des traversées a amené une clientèle bien plus nombreuse de voyageurs. Le confort a été considérablement accru par l'augmentation des dimensions des navires ; les installations sont devenues plus commodes et la stabilité s'est trouvée accrue singulièrement au point qu'on peut, sans trop d'exagération, comparer un grand paquebot à un hôtel flottant. Mais le progrès le plus frappant a été certainement l'accroissement de la vitesse.

Cette tendance s'est surtout accusée dans les services transatlantiques. La vitesse y a passé en trente ans de 16 à 25 nœuds ; le progrès a été bien moins sensible ailleurs ; ainsi sur les lignes du Sud de l'Afrique, les chiffres correspondants ne sont que 14 et 19, pour celles de l'Amérique du Sud, 14 et 18, pour l'Australie et l'Extrême-Orient, 15,5 et 18,5 et enfin pour les services de la Manche et de la Méditerranée, 14 et 22,5.

A l'époque de la Guerre de la Sécession, on avait construit en Europe des navires destinés à forcer le blocus des ports américains et dans lesquels tout avait été sacrifié à la vitesse ; quelques-uns de ces navires avaient atteint 17 nœuds, ce qu'on considérait alors comme phénoménal ; c'est aujourd'hui une vitesse assez ordinaire.

La flotte marchande de l'Angleterre possède actuellement 128 navires donnant plus de 18 nœuds, les marines étrangères en ont 57 ; pour plus de 20 nœuds, on trouve 52 navires anglais et 30 étrangers. Pour la marine militaire, les progrès ont été encore plus accentués : ainsi la marine anglaise a 47 navires donnant plus de 22 nœuds, alors que toutes les marines étrangères réunies en présentent 90. Pour les seuls torpilleurs, l'Angleterre en possède 89 donnant plus de 30 nœuds contre 75 pour toutes les marines étrangères réunies.

Les constructeurs de navires ne voient pas de difficultés insurmontables à réaliser des vitesses même supérieures à 25 nœuds. La question est uniquement de l'ordre financier et c'est pour cela que les ligne transatlantiques viennent en tête pour la vitesse. Il y a là un champ des plus féconds dans le transport des voyageurs à des prix très rémunérateurs. Pendant une grande partie de l'année, les paquebots ont des listes de 1 000-1 500 passagers et n'ont dès lors pas besoin de se préoccuper de prendre des marchandises.

Sur les lignes de l'Australie et de l'Extrême-Orient, il en est tou autrement et si les navires ont encore assez de passagers en quittant l'Europe, ils reviennent souvent presque à vide. Il faut dès lors trans-

porter des marchandises et la question se pose de la vitesse la plus économique pour un paquebot affecté au triple service simultané des voyageurs, des malles et des marchandises.

On peut admettre qu'une vitesse de 10 à 12 nœuds serait la plus avantageuse s'il ne s'agissait que du transport des marchandises. Si nous supposons un navire déplaçant 16 000 tx, dont la longueur serait de 146 m pour une vitesse de 12 nœuds, de 183 pour une de 22 nœuds, nous trouvons que les puissances motrices en chevaux indiqués seraient les suivantes pour les vitesses comprises dans les limites que nous venons d'indiquer :

Pour 12 nœuds	environ	4 500 ch
15	—	8 700 —
18	—	16 000 —
20	—	20 000 —
22	—	25 000 —

Chaque mille chevaux additionnels correspondent à un poids de 180 à 200 tx et à une augmentation de surface de la chambre des machines de 32 à 37,2 m ; tout cela amène un accroissement dans le poids et les dimensions de la coque et cet accroissement nécessite à son tour un surcroît de puissance dans l'appareil moteur pour maintenir la vitesse.

Le navire de 12 nœuds pourrait porter environ 10 000 tx et ne brûlerait que 70 tx de charbon par vingt-quatre heures.

Le navire de 22 nœuds consommerait 400 tx et ne pourrait plus porter que 3.000 tx.

On s'explique ainsi comment le paquebot transatlantique a dû, pour passer en trente ans d'une vitesse de 16 à 25 nœuds, voir son déplacement croître de 8 000 à 38 000 tx. La quantité brûlée pendant une traversée de 2 800 milles a passé de 850 à plus de 5 000 t. Si la traversée devait durer plus longtemps sans ravitaillement en route, la capacité et les dimensions du navire devraient encore être augmentées.

Des coloniaux dont l'ardeur patriotique dépasse de beaucoup les connaissances techniques voudraient voir toutes les colonies reliées à la mère-patrie par des services à 22 ou 25 nœuds ; ils font complètement abstraction de la distance. Voici comment la question doit être envisagée.

Un navire de 18 nœuds partant de Vancouver pour Sydney, faisant escale aux îles du Pacifique et à la Nouvelle-Zélande, emploiera dix-huit jours à ce voyage ; il pourra, en dehors de son charbon et des voyageurs, porter 2 250 à 2 500 tx de chargement payant.

On pourrait construire cinq navires de ce modèle portant ensemble 11 250 à 12 500 tx de fret payant pour le prix d'un seul *Lusitania*. Ce dernier, marchant à 25 nœuds, ferait le trajet ci-dessus en treize jours, mais il ne pourrait porter que 7 500 tx et brûlerait 15 000 t ; comme il ne peut les porter, il perdrait, en faisant du charbon en route, la plus grande partie des cinq jours que sa vitesse supérieure lui ferait gagner ; il n'aurait plus pour revenu réel que les passagers et les malles.

Prenons maintenant un navire de 22 nœuds d'une longueur de 198 m déplaçant 23 000 tx ; ce navire fera le trajet précédent en quinze jours

en brûlant environ 600 tx par jour ; il pourra porter 600 tx de fret payant, soit 9000 tx pour son voyage, mais il devra prendre au moins une fois du combustible en route et perdra ainsi une bonne partie des trois jours gagnés ; son bénéfice sera ainsi à peu près nul. On est ainsi amené à considérer si en réalité les cinq navires dont nous avons parlé ne représentent pas pour le pays une valeur bien plus considérable qu'un ou deux navires à vitesse phénoménale. Un temps viendra probablement où on ira en Australie à raison de 25 milles marins par heure, mais ce serait une grande illusion que de croire ce temps peu éloigné ; il faudrait pour le rapprocher de nous beaucoup d'inventions comme celle de la turbine Parsons.

Nous avons cru utile, pour mieux faire comprendre les progrès amenés par l'accroissement de capacité des navires, de reproduire un tableau relatif au développement successif du matériel de la Compagnie Cunard, tableau que nous avions déjà donné il y a quelques années et qui se trouve complété par l'addition de la plus récente unité de cette Compagnie, le paquebot *Lusitania*.

	Britannia. 1840	*Persia.* 1856	*Gallia.* 1879	*Umbria.* 1884	*Campania.* 1895	*Lusitania.* 1907
Déplacement . . . . t	2 050	5 450	8 500	13 300	18 000	38 000
Puissance indiquée . . . . . ch	710	3 600	5 000	14 500	30 000	68 000
Pression aux chaudières . . . kg	0,65	2,35	5,35	7,10	11,7	14
Consommation par cheval indiqué-heure . . . . kg	2,30	1,70	0,85	0,85	0,72	0,65
Consommation pour aller à New-York . . . . t	570	1 400	850	1 900	2 900	5 000
Chargement utile	225	750	1 700	1 000	1 600	1 500
Nombre de voyageurs.	115	250	320	1 225	1 700	2 200
Vitesse en service en nœuds. . .	8,5	13,1	15,5	19	22	25

Les locomotives compound articulées, système Mallet, sur les chemins de fer des États-Unis. — Nous avons donné dans la Chronique de juillet 1905, page 169, un aperçu des résultats de service de la machine compound articulée, système Mallet, du Baltimore-Ohio R. R. Cette machine, qui figurait à l'Exposition de Saint-Louis, en 1904, constituait à la fois, disions-nous, un exemple d'introduction d'un type européen de locomotive aux États-Unis et la plus grosse locomotive construite jusque-là.

Ces résultats ressortaient d'un rapport de M. E. Muhlfeld, directeur de la traction du Baltimore-Ohio, affirmant les avantages de ce type pour les très grosses locomotives. Tout en les admettant, on pouvait toutefois être porté à supposer que la puissance même de ces machines fût de nature à en limiter l'emploi au point de le rendre tout à fait exceptionnel.

Il ne semble pas en avoir été ainsi, car, au mois d'août de cette année, il y avait déjà, sur les chemins de fer des États-Unis, 50 locomotives Mallet réparties comme ci-après et dont 49 avaient été construites dans les deux dernières années.

Baltimore-Ohio R. R. . .	1 machine pour	service de renfort.	
Great Northern R. R. . .	5	—	—
— — . .	25	—	service courant.
Northern Pacific R. R. .	16	—	service de renfort.
Érié R. R.	3	—	—

On voit que la plupart de ces machines sont ce que les Américains appellent des *pushers*, c'est-à-dire, à proprement parler, des locomotives destinées à être employées comme machines de renfort pour pousser les trains sur les fortes déclivités, bien qu'elles puissent, comme nous le verrons, opérer elles-mêmes la remorque des trains dans ces conditions. Toutefois, quelques-unes sont affectées au *road service*, c'est-à-dire à la traction normale des trains de marchandises, au moins sur certaines sections.

Nous ne reviendrons pas sur la machine du Baltimore-Ohio si ce n'est pour dire que, depuis trois ans qu'elle est en service, on n'a pas éprouvé la plus légère difficulté avec les parties qui constituent le système.

Les premières locomotives construites après celle-là furent les cinq du Great Northern R. R. Cette ligne, qui réunit Saint-Paul et la région du Lac Supérieur à la côte du Pacifique, dans le détroit de Puget-Sound, présente aux Cascade-Range une partie très difficile dont le point culminant est à 1 018 m au-dessus du niveau de la mer où, sur une centaine de kilomètres, les fortes rampes allant jusqu'à 25 0/00 se rencontrent avec des courbes de 175 m de rayon. Sur cette section, les trains de 1 800 t devaient, jusqu'ici, être coupés en deux et chaque moitié remorquée par deux machines *Consolidation*, placées une en tête et l'autre en queue. Maintenant on ne coupe plus les trains, qui sont remorqués sur toute la longueur de la section par deux locomotives Mallet, une à l'avant, l'autre à l'arrière. Cette méthode, qui évite des pertes de temps, a en outre l'avantage de donner une économie de combustible de 40 0/0.

Les machines diffèrent de celle du Baltimore-Ohio en ce qu'elles ont des essieux porteurs convergents, l'un à l'avant, l'autre à l'arrière; cette disposition facilite l'entrée en courbe de la machine qui est appelée à marcher dans les deux sens; elle a l'inconvénient de réduire le poids adhérent qui est moindre que celui de la locomotive précédente, 143 300 kg au lieu de 151 700, tandis que le poids total 161 000 kg est supérieur.

Les bons résultats obtenus par ces machines ont engagé le Great Northern à en étendre l'emploi au *road service* et il a fait construire vingt-cinq locomotives à marchandises dans le même système. Ces locomotives, de disposition identique, sont notablement plus petites; elles pèsent seulement 130 000 kg, dont 113 300 kg de poids adhérent; la surface de chauffe est de 363 m².

On les emploie sur la section de Spokane à Leavensworth, dans le territoire de Washington, section de 320 km de longueur où se trouvent de nombreuses déclivités de 1 0/0. Les machines remorquent régulièrement des trains de 1 450 short tonnes, soit 1 300 tonnes métriques à

une vitesse qui ne descend pas au-dessous de 16 km à l'heure sur les plus fortes rampes. Avant l'emploi des machines Mallet, on se servait de machines *Consolidation* qui remorquaient seulement 1 000 t, de sorte qu'on a obtenu une augmentation de tonnage des trains de 30 0/0 avec la même consommation de combustible.

Les locomotives du Northern Pacific R. R. sont semblables, à part quelques détails, à celles du Great Northern et leurs dimensions sont les mêmes; il n'y a qu'une très faible différence dans les poids et la surface de chauffe. Elles font un service analogue de renfort sur les rampes.

Le chemin de fer de l'Érié a commandé l'année dernière aux ateliers de Schenectady, de l'American Locomotive Company, trois locomotives du système Mallet, qui sont les plus lourdes qui aient encore été faites. Ces machines sont à adhérence totale et sont portées sur deux trains de huit roues accouplées chacun. Leur poids sans le tender est de 185 300 kg et, avec le tender plein, de 259 100 kg. Le poids par essieu ne dépasse pas cependant 23 200 kg, charge inférieure à celle de la machine du Baltimore-Ohio qui est de 25 300 kg.

Voici dans quel but ces énormes machines ont été construites. Le chemin de fer de l'Érié a, entre Susquehanna et Golf Summit, une section longue de 12 300 m en rampe de 13 0/00, qui oblige les trains de 3 000 t, allant de Cornell à Port-Jervis, à se dédoubler ou à prendre des machines de renfort. Il y a deux et même trois des plus puissantes locomotives de l'Érié pour assister les machines du train. Or, la nouvelle machine doit opérer, à elle seule, ce renfort. Ce programme a été rempli avec un succès complet et il en résulte une économie considérable de personnel, de combustible et de temps.

On jugera des dimensions des locomotives de l'Érié par le tableau ci-joint. Nous ajouterons toutefois quelques chiffres de nature à frapper l'imagination. La chaudière, à foyer Wooten, pèse 45 000 kg à vide et contient 18 000 l d'eau; l'enveloppe a un diamètre de 2,133 m et une épaisseur de 30,2 mm; le cadre du foyer a 2,80 m sur 3,20 m; les côtés de ce cadre ont une largeur de 0,125 m dans le sens horizontal, ce qui correspond à la largeur minima des lames d'eau de la boite à feu; ces lames vont en s'élargissant jusqu'à avoir 0,21 m à la hauteur du ciel du foyer. La chaudière contient 404 tubes en fer au bois de 57 mm de diamètre et 6,405 m de longueur. A la suite du foyer se trouve une chambre de combustion de 1,22 m de longueur; si cette chambre n'existait pas et que les tubes aient pu avoir une longueur supplémentaire égale à la longueur de la chambre, la surface de chauffe totale aurait pu atteindre la valeur de 558 m², au lieu de 494 m², sa valeur actuelle, mais, avec la disposition adoptée, la surface directe est de 32 m² environ, chiffre énorme pour une locomotive.

Les grands cylindres ont un diamètre de 0,991 m, tout près de 1 m; c'était le diamètre des chaudières de locomotives d'il y a soixante ans. La largeur de la machine à l'extérieur de ces cylindres est de 2,794 m et leur grand diamètre a obligé d'incliner leur axe, tandis que les petits cylindres sont horizontaux. Les cylindres à haute pression ont des tiroirs cylindriques et les cylindres à basse pression des tiroirs plans

		BALTIMORE-OHIO	GREAT NORTHERN	GREAT NORTHERN	NORTHERN-PACIFIC	ÉRIÉ	CENTRAL DU BRÉSIL
Constructeurs		Am. Loc. C^y	Baldwin.	Baldwin.	Baldwin.	Am. Loc. C^y	Am. Loc. C^y
Caractéristiques de la machine		CMC - $\overline{\text{CMC}}$	$\overline{\text{P}}$CMC - $\overline{\text{CMCP}}$	$\overline{\text{P}}$CMC - $\overline{\text{CMCP}}$	$\overline{\text{P}}$CMC - $\overline{\text{CMCP}}$	CMCC - $\overline{\text{CMCC}}$	MCC - $\overline{\text{MCC}}$
Surface de grille	m²	6,70	7,25	4,97	7,25	9,30	3,81
Surface de chauffe directe	m²	20,35	20,90	18,42	20,90	31,90	11,30
Surface — tubulaire	m²	498,50	504,75	344,83	500,64	462,25	204,10
Surface — totale	m²	518,85	525,65	363,25	521,54	494,15	215,40
Diamètre du corps cylindrique	m	2,13	2,13	1,83	2,13	2,133	1,658
Pression à la chaudière	kg	16,6	15,0	14,9	14,2	15,25	14,2
Diamètre des cylindres	mm	508 — 813	547 — 838	508 — 787	547 — 838	635 — 991	445 — 711
Course des pistons	m	0,813	0,813	0,762	0,813	0,711	0,660
Diamètre des roues motrices et accouplées		1,422	1,397	1,397	1,397	1,295	1,270
Écartement des essieux parallèles		3,050	3,050	3,000	3,050	4,343	2,743
— total pour la machine		9,347	13,665	13,293	13,665	11,945	8,438
— total machine et tender		19,680	22,307	22,020	24,335	21,490	16,832
Poids adhérent		151 700	143 300	113 300	142 000	185 300	93 300
— total de la machine		151 700	161 000	130 500	159 000	185 300	93 300
— total machine et tender		216 700	228 000	204 000	226 500	259 100	138 000
Eau dans le tender	l	26 500	30 200	30 200	30 200	32 700	17 300
Combustible dans le tender	kg	13 600	11 800	11 800	11 800	14 500	7 800
Effort de traction $1{,}1\,p\,\frac{d^2 l}{D}$		27 000	29 000	23 000	27 000	37 000	16 000

équilibrés par le dispositif Richardson. La commande des distributeurs est du système Walschaerts et, comme les tiroirs à haute pression introduisent la vapeur par l'intérieur et les tiroirs à basse pression par l'extérieur, les coulisseaux des premiers sont à la partie supérieure des coulisses et ceux des premiers à la partie inférieure pour le même sens de la marche, de sorte que les pièces mobiles de la commande s'équilibrent les uns par les autres. La manœuvre du changement de marche s'opère par un cylindre à air comprimé contrôlé par un cylindre à huile et par un levier spécial de commande. Il y a également une commande à main. Le receiver ou tuyau de communication entre les deux groupes de cylindres a un diamètre de 0,229 m. Les essieux moteurs ont des fusées de 0,254 m de diamètre sur 0,330 m de longueur; les tiges de pistons ont 0.108 m de diamètre.

Comme la largeur extérieure de la boite à feu atteint à sa base 2,92 m. c'est-à-dire, à peu de chose près, la largeur du gabarit, il a fallu placer sur le côté du corps cylindrique le cab du mécanicien, lequel se trouve ainsi séparé du chauffeur, placé, comme à l'ordinaire, sur l'avant du tender. L'axe du corps cylindrique est à 3,05 m au-dessus du rail et le sommet de la cheminée à 4,71 m, ce que permet le gabarit américain. Malgré cet avantage, la cheminée ne dépasse la boite à fumée que de 0,565 m; son diamètre est de 0,457 m. Ajoutons que, malgré ses énormes dimensions, cette machine est assez flexible pour pouvoir passer dans des courbes de 110 m de rayon.

Les machines de l'Érié sont, comme celles du Baltimore-Ohio, munies d'un dispositif de valve interceptrice entre les deux groupes de cylindres grâce auquel on peut augmenter considérablement l'effort de traction en faisant agir chaque groupe avec admission et échappement directs de la vapeur. Les journaux américains estiment que, dans ces conditions, les locomotives de l'Érié pourraient remorquer en palier un train de 250 wagons chargés, représentant un poids de 9 080 t métriques à une vitesse de 13 à 16 km à l'heure. Si, ajoutent-ils, le chargement de ce train était entièrement composé de blé, il constituerait la récolte d'une superficie de 26 milles carrés, soit 6 700 ha. Ce train aurait une longueur de 3 km environ.

Nous terminerons par une observation intéressante. Les Ingénieurs américains ont trouvé, dans l'emploi de ce système de machines, un avantage spécial qu'ils n'avaient pas prévu, mais qui avait été constaté depuis longtemps en Europe. Ces machines patinent moins que les machines ordinaires, parce que le patinage, s'il vient à se produire sur un des deux groupes de roues, est gêné et rapidement arrêté d'une manière automatique par la résistance créée sur les pistons de l'autre groupe par l'effet de l'augmentation ou de la diminution de pression qui se produisent dans le réservoir intermédiaire réunissant les deux groupes de cylindres.

Cette considération, en dehors de toute question d'économie, suffirait pour assurer la supériorité du fonctionnement compound dans les locomotives articulées à deux groupes d'essieux indépendants. Cette supériorité, à ce point de vue, a été mise en lumière dans des expériences faites sur des machines articulées à deux groupes de cylindres indé-

pendants, tous les deux à haute pression, expériences tout à fait inédites et dont nous aurons peut-être occasion de parler.

Bien que cette note ne concerne que les locomotives Mallet des chemins de fer américains, nous pouvons ajouter que les ateliers de Schenectady, de l'American Locomotive Company, viennent de livrer au Chemin de fer Central du Brésil (voie de 1,600 m) trois locomotives pour service régulier des marchandises. Ces machines sont de dimensions bien inférieures aux précédentes; mais elles atteignent encore le poids assez élevé de 93 300 kg en charge tender non compris, et 138 000 kg avec le tender plein; elles sont à adhérence totale à deux groupes de trois essieux. Nous donnons dans le tableau page 657 les dimensions principales de ces machines.

Si nous ajoutons quelques locomotives à voie de 1 m construites par les ateliers Baldwin, pour les colonies américaines, nous arriverons à un total d'une soixantaine de locomotives de ce type construites jusqu'ici aux États-Unis.

On nous permettra, pour terminer, de citer ici quelques lignes parues dans le *Railway Machinery* de décembre :

« La première application du système Mallet aux États-Unis, dit le journal américain, a été faite à de très grosses locomotives dont le nombre d'essieux et la distance extrême de ceux-ci étaient inadmissibles avec un empattement rigide. On devait donc, pour réaliser ces machines, recourir à un type qu'en Amérique les constructeurs et les Ingénieurs de chemins de fer s'accordaient pour regarder avec une extrême défiance. Cette défiance était en grande partie basée sur la difficulté supposée de tenir étanches les tuyautages flexibles; ces craintes, appuyées sur l'expérience faite sur des types de machines analogues, paraissaient fondées; dès les premiers essais on dut reconnaître qu'il n'en était rien.

» Maintenant qu'on est tranquillisé sur la question du tuyautage articulé, il y a de très sérieux indices de l'application très large de ce système pour le service normal des trains lourds. L'emploi au Chemin de fer Central du Brésil est un exemple très intéressant. Le poids total d'une machine pesant 93 300 kg est utilisé pour l'adhérence et aucune des pièces du mécanisme ne dépasse un poids pouvant être manié par un ou deux hommes. Ainsi le poids des bielles motrices est de 190 kg, alors que celles d'une machine *Consolidation* pèsent 380 kg, et de même pour les autres pièces du mécanisme. Il y a là une considération intéressante au point de vue des réparations. La comparaison devient encore plus favorable si on considère que la machine *Consolidation* du poids total de la machine Mallet n'aurait que 85 0/0 de son poids utilisable pour l'adhérence. Or cette machine *Consolidation* est actuellement, sauf de rares exceptions, le type le plus puissant employé sur les chemins de fer des États-Unis. L'emploi du type Mallet permet d'en augmenter considérablement le poids adhérent, le doubler au besoin, sans augmenter la rigidité de la machine. Il est donc permis de supposer que, la demande de puissantes locomotives allant toujours en augmentant, le type dont nous parlons est appelé à attirer de plus en plus l'attention des chemins de fer. »

Le nouveau bassin du port de Rotterdam. — Le conseil communal de Rotterdam a approuvé définitivement, dans sa forme la plus large, le projet du nouveau grand bassin à établir et qui portera le nom de *Waalhaven* (bassin du Wahal).

Quoique cette nouvelle extension du port ne nécessite aucun « chambardement », à la différence du *Maashaven* qui avait pris la place d'un village de 4000 habitants, elle n'est pas moins frappante par les dimensions extraordinaires du nouveau bassin qui, temporairement du moins, sera le plus grand du monde. Nous disons temporairement, parce que le bassin qui sera formé par l'ancien lit de l'Escaut, à Anvers, d'après le projet du Gouvernement belge, aura une superficie plus que double de celle du bassin de Rotterdam qui doit avoir 310 ha.

Le développement du port de Rotterdam, sur la rive gauche de la Meuse, ne remonte guère au delà de 1880, date de l'amélioration de la voie navigable reliant ce port à la mer. C'est alors que l'on put réellement utiliser le *Spoorweghaven* et le *Binnenhaven*, les deux bassins établis en 1878 près du faubourg de Feijenoord.

La progression du trafic imposa bientôt le creusement d'un bassin présentant une grande surface d'eau, de façon à donner la place voulue au transbordement de navires de mer sur bateaux d'intérieur. Le creusement du *Rijnhaven* fut décidé en 1887. Depuis lors, les installations continuèrent à se développer vers l'ouest. Les bassins du *Katendrecht*, de petites dimensions mais pourvus de quais, furent établis en 1893-94. Le *Parkhaven*, situé sur l'autre rive, et destiné au garage des bateaux rhénans, suivit en 1898.

En 1895, l'annexion de la commune de Cherbois permit de songer au creusement d'un nouveau bassin du type du *Rijnhaven*. C'était le *Maashaven*, d'une surface de 58 ha. Les lenteurs des expropriations retardèrent jusqu'en 1900 le commencement des travaux.

A cette époque, il était permis de supposer que la place ne manquerait plus, au moins pendant quelque temps. Néanmoins on crut bien faire, vu le temps que demanda la mise à exécution des projets, de préparer les voies à de nouvelles extensions. On dressa donc le projet de deux nouveaux bassins à creuser au delà des installations à pétrole, l'un ayant les dimensions du *Maashaven* et dirigé vers Cherbois, et l'autre du type du *Rijnhaven*, situé vers Courzand. D'autre part, on passait à l'exécution, sur l'autre rive, du *Sint-Jacobshaven* et du *Schiehaven* et on développait encore les installations d'amarrage en rade et les quais à pétrole et à benzine.

L'extension sans cesse croissante du mouvement du port justifiait ces mesures. De 1880 à 1900, le nombre des navires de mer déclarés à l'entrée a passé de 3456 à 8727 et leur jauge totale de 1 681 650 à 9 125 860 tx (de 2,83 m^3). Dans la même période, le nombre des bateaux d'intérieur passait de 63 542 à 139 518 et leur capacité de 4 008 188 à 22 513 537 m^3.

Aujourd'hui la place fait encore défaut. Une impulsion très vive est donnée, en ce moment, à la construction de nouveaux murs de quai dans les bassins déjà établis et notamment dans le *Maashaven*. D'autre part, des mesures devaient être prises pour créer, à bref délai, une nouvelle surface d'eau.

Le projet des deux nouveaux grands bassins est donc revenu sur le tapis et dans des conditions telles que les plus timorés ont pris courage. Il a paru nécessaire de prévoir, dès à présent, le creusement d'un bassin d'une surface plus grande que l'ensemble des deux bassins projetés et même que celle de tous les bassins existants, mais conçu de telle façon que la réalisation pût se faire graduellement. On en est venu ainsi à la conception d'un bassin unique de 310 ha de superficie.

Ce bassin débouchera dans la Meuse, à l'aval des installations à pétrole, par un chenal présentant une largeur de 350 m dans sa partie la plus étroite et de 440 m à la rive. Une passe navigable de 200 m de largeur sera réservée dans l'axe pour le passage des bateaux. Aucun poste d'amarrage n'y sera établi, mais tout le reste de la surface sera occupé par des rangées de pieux, ce qui permettra d'y amarrer 140 bateaux, non compris ceux qui se trouveront à quai. Le côté ouest du bassin sera utilisé pour l'établissement de darses. C'est là que l'on pourra transférer, en 1925, les installations à pétrole, si ce déplacement paraît désirable à cette époque. Une partie du bassin pourra être réservée au commerce des bois qui manque de place à Rotterdam. Des hangars devront, dans ce but, être établis entre les darses. Une autre partie sera utilisée pour l'hivernage des bateaux rhénans. Le long des quais projetés s'étendront de vastes terrains que l'on compte affecter au commerce. Une route de 50 m de largeur avec voies de chemin de fer et de tramway en fera le tour et ira rejoindre la route semblable établie autour du *Maashaven*.

S'il était question d'affecter le *Waalhaven* à la création d'un port franc, un mur établi dans l'axe de la route en formerait la délimitation.

En dehors de cette route, on a prévu la construction de maisons ouvrières.

Le bassin et ses dépendances occuperont une surface de 460 ha qui est tout entière située sur le territoire de Rotterdam. La plupart de ces terrains sont de faible valeur. En dehors de ceux qui appartiennent à la ville sur Hogenoord et Courzand, la surface à exproprier comprend les polders de Robbenoord et Plumpert. L'acquisition des terrains qui doit se faire, dès à présent, pour la surface entière ne sera donc pas onéreuse. D'autre part, la construction de grands bassins dont le périmètre de quais est relativement peu étendu par rapport à la surface est avantageuse au point de vue du capital engagé.

Il va de soi que, à part les expropriations, l'exécution du *Waalhaven* se fera par étapes successives.

La première partie sera exécutée immédiatement. Elle s'étend sur les terrains de la commune et est limitée au sud-est par la digue existante de Heij. La surface de ce premier bassin sera de 40 ha environ. La dépense qu'entraîneront les dragages, les digues en fascinages à établir le long des rives nord et ouest et des darses, les perrés, les pilotis et la voirie, s'élèvera à 5 millions de francs environ.

La seconde partie, qui sera établie ensuite, nécessitera l'enlèvement de la digue dont il vient d'être question et l'établissement d'une nouvelle digue provisoire à travers le polder.

La troisième partie est réservée pour l'époque à laquelle l'achèvement du *Waalhaven* deviendra nécessaire.

L'ensemble des dépenses relatives au projet adopté est évalué à 42 millions de francs. Nous trouvons ce qui précède dans les *Annales des Travaux publics de Belgique*, qui l'ont traduit du *De Ingenieur*, numéro du 29 juin 1907.

La catastrophe du pont de Québec *(suite et fin)*. — Nous avons donné dans la Chronique d'octobre, page 443, la déposition, faite devant la Commission d'enquête nommée par le Gouvernement canadien, de M. Théodore Cooper, Ingénieur-conseil de la Quebec Bridge Company.

L'*Engineering News*, du 28 novembre, donne les dépositions faites devant la même Commission des agents de la Phoenix Bridge Company, constructeur du pont. Ces dépositions n'occupent pas moins de trente colonnes du journal : elles émanent du président, du directeur, des Ingénieurs en chef et de l'Ingénieur des études de la Compagnie.

Le journal américain fait suivre cette reproduction d'un résumé dont nous indiquons ci-après les points essentiels.

Si on examine successivement les dépositions des deux parties, on voit qu'en somme chacune rejette sur l'autre la responsabilité du désastre. M. Cooper critique avec quelque raison l'organisation donnée au travail par la Compagnie chargée de la construction et à laquelle il s'en était entièrement rapporté, et celle-ci est, d'autre part, autorisée, au moins dans une assez large mesure, à dire qu'elle s'en était rapportée presque entièrement à l'expérience de M. Cooper, spécialiste des plus autorisés dans l'espèce; mais le fait de cette confiance réciproque ne suffit pas pour absoudre les fautes personnelles.

On peut blâmer le système de cette division de la responsabilité entre les deux parties, mais il faut bien reconnaitre que, si le constructeur eût été seul responsable et avait travaillé sans l'intervention de l'ingénieur conseil de la Compagnie, le résultat eût été le même. Le système adopté n'était pas nouveau, mais il eut fallu que les parties marchassent toujours d'accord ; le point faible est que M. Copper avait le titre d'Ingénieur-Conseil de la Quebec Bridge Company, sans en avoir ni les attributions ni les avantages ; il était payé comme un Ingénieur qu'on consulte et non comme un Ingénieur qui doit suivre constamment sur place les travaux de construction et de montage d'un pont. Son âge et son état de santé l'eussent d'ailleurs empêché de jouer ce rôle personnellement. Il y a eu là une faute de la part de la Compagnie. Le mode de construction des cordes de compression n'est pas nouveau, il a été employé sur des ponts de moindre portée, il est vrai, mais on a proportionné autant que possible les dimensions des pièces à celle des portées.

On a dit que, lors de la construction de ces pièces aux ateliers, les Ingénieurs et même des ouvriers avaient été frappés de la faiblesse relative et du peu de rigidité naturelle de ces cordes ; le président de la Phoenix Bridge Company signala le fait aux inspecteurs de la Compagnie du pont ; la question fut discutée entre M. Cooper et M. Szlapska, Ingénieur des études de la Phoenix Bridge, mais ne reçut pas de solution, les deux Ingénieurs ne paraissant pas y avoir attaché d'importance

sérieuse. Il semble singulier qu'alors que les ouvriers chargés d'exécuter des pièces concevaient des doutes sur leur aptitude à résister aux efforts, les Ingénieurs responsables ne paraissaient éprouver aucune inquiétude à ce sujet.

Le président de la Compagnie chargée de la construction estime que la cause de la catastrophe est dans les charges élémentaires trop élevées admises par la Compagnie du pont ; on s'est incliné devant l'autorité de M. Cooper. On était gêné par la question d'argent qui revient à tout propos dans cette affaire et on a fait travailler par économie le métal à des taux très élevés, sans dépasser toutefois ce qu'on croyait être les limites de la sécurité, mais l'expérience a malheureusement prouvé que ces charges étaient trop élevées.

On ne saurait, en tout cas, suspecter la qualité des matières employées, car la manière dont la construction métallique s'est comportée, en général, dans l'effondrement du pont est un éclatant témoignage en faveur de cette qualité.

Le pont avait d'ailleurs été étudié avec de moindres portées, 500 m seulement pour la travée centrale ; M. Cooper a tenu à pousser cette portée à 549 m et a admis que les échantillons des poutres pouvaient rester les mêmes, le travail du métal restant dans des limites raisonnables ; ce fait a encore aggravé la situation.

M. Szlapska, Ingénieur des études de la Phoenix Bridge Company, a fait ses études à l'École Polytechnique de Hanovre et occupe la position dont nous parlons à la Phoenix Bridge, depuis plus de vingt ans ; il est donc familiarisé avec les méthodes américaines et européennes de calcul des ponts métalliques. Il est d'avis que la catastrophe a eu pour point de départ le fléchissement de la corde A9L et celui qui a immédiatement suivi de la pièce correspondante de droite. L'équilibre étant rompu, la poussée due à la charge a chassé horizontalement les sabots d'appui des piles et l'effondrement de la construction s'en est suivi. La pièce A9L a cédé, non par suite d'insuffisance de section mais par la suppression de la solidarité des parties qui la constituaient, suppression due à la rupture des treillis de jonction. Il estime que les pièces comprimées travaillaient à 15 kg par millimètre carré au moment de l'accident. La question était délicate ; on manquait absolument de précédents pour un ouvrage aussi considérable. Il n'existe pas de théorie applicable à ce cas et les expériences faites sur les colonnes chargées en bout ne peuvent servir dans le cas dont il s'agit ; il y a là une lacune très importante à combler.

L'opinion des journaux anglais est intéressante à noter. Nous trouvons dans l'un d'eux une curieuse appréciation. On se tromperait fort, dit-il, si on supposait d'après quelques dires émis dans l'enquête que la marche des travaux était laissée un peu au hasard et à l'initiative individuelle des agents chargés du montage. Au contraire, tout semblait prévu avec un luxe de prescriptions et de règlements extraordinaire et dont le résultat immédiat était de ne rien laisser à l'appréciation du personnel dirigeant des chantiers. Ce système n'est pas étranger à la catastrophe.

Lorsqu'on enlève toute responsabilité à un agent, on ne saurait s'attendre à ce qu'il fasse preuve d'initiative ; il arrive à se considérer

comme un simple outil et non comme quelqu'un qui est chargé de se servir d'un outil et, en présence d'un cas imprévu, s'empresse de s'en réferer à son supérieur au lieu de prendre de lui-même les mesures nécessaire.

Ainsi, dès qu'on s'aperçut que la pièce A 9 L prenait une courbure latérale dont la flèche atteignait déjà 50 mm, l'Ingénieur résident s'empressa d'en référer à l'Ingénieur en chef qui était à New-York. En présence d'une grève des agents des télégraphes, un exprès dut être envoyé à New-York et, pour la même raison, le télégramme prescrivant de suspendre les travaux et de faire évacuer le pont arriva après la catastrophe. L'Ingénieur dont l'intervention eût pu l'éviter paya de sa vie son manque d'initiative.

Un correspondant de l'*Engineer* lui signale que M. Th. Cooper aurait, dans une discussion sur les ponts devant la Société des Ingénieurs de la Pensylvanie Occidentale, stigmatisé en quelque sorte la méthode anglaise qui consiste, en présence de l'incertitude des calculs, à acheter la sécurité par une accumulation de matériaux, cas, disait-il, du pont du Forth, ouvrage démesurément et inutilement lourd. Cette méthode, répondait le journal, si elle n'est pas très scientifique, paraît certainement moins dangereuse que celle qui a été suivie au pont de Québec où on a réduit les dimensions des pièces à la dernière limite en portant à un taux périlleux le travail du métal et dont le résultat a été une catastrophe sans précédent. Il y a là une leçon coûteuse dont la pratique américaine ne pourra manquer de profiter.

COMPTES RENDUS

SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

AOUT-SEPTEMBRE-OCTOBRE.

Recherches sur la nitrification intensive et l'établissement des nitrières à haut rendement, par M. MUNTZ.

Les explosifs, qui jouent un si grand rôle dans la guerre moderne, dérivent tous du nitre et il est curieux de constater que les effets prodigieux des engins de destruction sont le produit du travail accumulé par des infiniment petits dans le sein de la terre.

Le nitre provenait autrefois de l'Inde pour la plus grande partie; pendant les guerres de la Révolution et de l'Empire, on dut utiliser les ressources indigènes, mais, dès le milieu du XIXe siècle, la découverte des gisements de nitrate de soude de l'Amérique du Sud enleva toute importance à la fabrication indigène et l'art du salpêtrier disparut. Aujourd'hui, même sans admettre encore l'épuisement de ces gisements, il est intéressant de prévoir le cas d'une guerre dans laquelle la source des approvisionnements de nitrate serait tarie et de chercher à utiliser de nouveau la production indigène en utilisant les ressources fournies par la science dans ces dernières années. Il est évident qu'il faut, dans ce cas, recourir à des nitrières à action beaucoup plus rapide et à rendement beaucoup plus élevé qu'autrefois.

Cette note a pour objet d'étudier les moyens à employer pour réaliser ce programme.

Il y est établi que la tourbe constitue un milieu nitrifiant supérieur à tous les autres, soit qu'on l'emploie pour l'installation de nitrières terreuses, soit qu'on s'en serve pour former le support des nitrières à déversement continu du liquide ammoniacal.

La fabrication des nitrates peut donc reposer tout entière sur l'exploitation des tourbières et, si on voulait la réaliser, il conviendrait de s'installer sur les tourbières mêmes, pour n'avoir pas à supporter les frais de transport d'une matière de très faible valeur. L'auteur estime qu'une tourbière de 1000 ha, avec une profondeur moyenne de 2 m et une richesse de 2 0/0 en azote, peut donner 800 à 900000 t de nitrate de soude. L'ensemble des tourbières de France permettrait d'obtenir beaucoup plus de nitrate que n'en contenaient, avant leur mise en exploitation, les gisements du Chili. D'autres pays sont incomparablement plus riches, que la France en tourbières; il y a là une réserve

d'azote qui peut suffire, pendant de longs siècles, à la consommation du monde pour la production des nitrates, quelque considérable que celle-ci puisse devenir.

Revue des périodiques, par M. G. Richard.

Notes de chimie, par M. Jules Garçon.

Nous signalerons parmi ces notes : La localisation de l'industrie chimique en France. — La conservation des monuments. — Analyse rapide des eaux d'alimentation. — Fixation de l'azote atmosphérique. — Coupage des métaux par l'oxygène. — Effets pernicieux des fumées d'usines de fonderies. — Raffinage électrolytique de l'étain. — Coût de l'extraction de l'or. — Sur le procédé Gayley du soufflage de l'air sec dans les hauts fourneaux. — Régénération du caoutchouc. — Procédé de désodorisation des essences. — Le lactoforme en distillerie. — Action du méthanol dans les terrains. — Dosage du zinc dans les peintures, etc.

Notes de mécanique.

Nous citerons dans ces notes : une étude sur la chaleur spécifique de la vapeur surchauffée, d'après les recherches récentes; une sur les moteurs à gazoline pour bateaux; le réglage des turbines hydrauliques; la description d'une pompe pour très hautes pressions du laboratoire de l'Université de Manchester; une note sur la formation des fissures dans les tôles de chaudières; une sur une machine à vapeur de 1 000 chx à triple expansion et à grande vitesse; des essais sur l'influence du mélange de gaz et d'air sur la marche des moteurs à gaz, et les nouvelles pompes élévatoires de Hambourg.

ANNALES DES MINES

8e livraison de 1907.

Sur les dangers que peuvent présenter **les lampes de sûreté munies de rallumeurs** à amorces fulminantes. — Rapport présenté à la Commission du Grisou, par M. G. Chesneau, Ingénieur en chef des Mines, secrétaire de la Commission.

L'explosion survenue le 28 janvier dernier aux mines de Liévin, explosion qui a coûté la vie à deux Ingénieurs et à un chef-porion, a pris naissance, d'après le rapport de M. l'Ingénieur en chef des Mines Léon, sur la lampe du chef-porion, lampe à essence à alimentation par le bas, à fermeture magnétique, avec allumeur vertical à amorces fulminantes et commande rotative latérale. Des essais, faits sur cette lampe, retrouvée en bon état, ont fait voir qu'elle fonctionnait d'une manière irréprochable et on a été conduit à admettre que l'explosion pouvait

provenir des particules qui se détachent des rallumeurs à amorces fulminantes, fait dont on ne s'était pas préoccupé jusqu'ici.

Le rapport examine les divers genres de rallumeurs à explosifs et étudie les résultats des essais faits par le Service des Mines, à la suite de l'accident de Liévin, sur les particules détachées des amorces fulminantes.

D'autre part, il a été fait des essais analogues avec les rallumeurs à phosphore blanc et bandes paraffinées. La conclusion à laquelle arrive le rapporteur est que ces dernières présentent une sécurité supérieure et peuvent être substituées aux rallumeurs à amorces fulminantes avec avantage et sans grands frais, tout au moins pour les systèmes les plus répandus.

Rapport sur l'**étude des ratés de détonation des explosifs de sûreté**, par M. Dautriche, Ingénieur des Poudres et Salpêtres.

A la suite d'accidents provenant de déflagrations exceptionnelles, la Commission du Grisou a été appelée à rechercher les causes de ces déflagrations; elle a émis l'avis que, dans certaines circonstances, des explosifs de sûreté pouvaient donner lieu à des déflagrations fusantes au lieu d'une détonation proprement dite. Il restait à chercher les causes de ce phénomène. Une étude minutieuse a permis de conclure qu'il s'agissait de grisoutine-couche; il peut se produire, dans les trous de mines forés en couche, des mélanges de grisoutine et de charbon; en cas de ratés de détonation, de tels mélanges peuvent donner lieu à des déflagrations fusantes amenant l'inflammation du grisou. Le remède est dans : 1° le curage soigné des trous de mines forés en couche; 2° la suppression des bourrages exagérés pouvant écraser les cartouches et les mélanges de charbon et 3° le renforcement des amorçages.

Discours prononcé aux funérailles de M. Henri Bochet, Inspecteur général des Mines, par M. Aguillon, Inspecteur général des Mines.

Amélioration de la sécurité dans les mines, par l'emploi d'un nouveau dispositif d'amorçage des explosifs, par M. Lheure, Ingénieur des Poudres et Salpêtres.

Ce dispositif consiste essentiellement à effectuer l'amorçage non plus en un point de la charge, mais sur toute sa longueur, en prolongeant le détonateur ordinaire par un tube ou cordeau détonant à enveloppe métallique. Des essais faits aux mines de Lens ont fait voir que ce système permet de réduire les charges d'explosifs et même de remplacer des explosifs qui ne sont pas de sûreté par des explosifs à température de détonation plus basse. De plus, le mode de chargement imposé par cet amorçage rendrait impossibles les mélanges d'explosifs et de charbon dont on a signalé plus haut le danger.

La Commission du Grisou a fait un rapport favorable sur l'amorçage Lheure et a émis l'avis de faire exécuter des expériences ayant pour but de déterminer dans quelle mesure ce nouveau mode d'amorçage influe sur la charge limite des différents explosifs de sûreté.

Compensation d'une triangulation, par M. PELLETAN, Ingénieur en chef des Mines.

Quand on a mesuré les angles d'un réseau, il existe des relations nécessaires entre les quantités observées et, pour amener les mesures à satisfaire à ces conditions, on doit leur appliquer certaines corrections que l'on détermine par la méthode des moindres carrés: c'est ce qu'on appelle la compensation.

La méthode classique de compensation amène à des équations linéaires, mais, bien qu'elle soit simple, elle conduit, pour peu que le nombre des inconnues soit élevé, à un travail démesurément long et pénible. L'auteur a cherché une méthode d'approximation qui, sans s'écarter des règles rigoureuses du calcul des probabilités, permit de réduire progressivement la somme des carrés des écarts et d'obtenir pour des inconnues des valeurs aussi approchées que l'on voudra de celles qui donnent le minimum sans exiger un travail trop pénible ni trop prolongé. C'est l'exposé de cette méthode qui fait l'objet de la note.

SOCIÉTÉ DE L'INDUSTRIE MINÉRALE

SEPTEMBRE-OCTOBRE 1907.

DISTRICT DU NORD.

Réunion du 1er Juin 1907.

Visite aux mines de Dourges et aux usines de Malfidano.

La visite aux mines de Dourges a porté principalement sur la fosse Sainte-Henriette *bis*, récemment créée et servant à l'extraction, la fosse Sainte Henriette étant consacrée à l'aérage. La fosse d'extraction a 5 m de diamètre; elle est cuvelée en fonte, et munie d'un guidage diamétral en rails Nord de 30 kg avec guidage latéral en bois pour parachute.

La machine d'extraction, construite par la Compagnie de Fives-Lille, est très intéressante; elle est à trois cylindres horizontaux égaux, de 0,78 m de diamètre et 1,60 m de course agissant sur des manivelles calées à 120 degrés. Il y a deux cylindres d'un côté des bobines et un de l'autre. La distribution se fait par tiroirs cylindriques verticaux placés à chaque extrémité du cylindre et actionnés par des coulisses renversées commandées par un servo-moteur.

La détente variable est commandée par un régulateur à force centrifuge. Cette disposition de machine donne des moments beaucoup plus uniformes que ceux d'une machine à deux cylindres.

Les bobines ont 8,250 m de diamètre. Il y a un frein à machoires actionné par un cylindre à vapeur à piston étagé pour pouvoir varier l'énergie du serrage. La machine est, de plus, munie d'un évite-molettes, système Foby, d'une sonnerie mécanique annonçant l'arrivée des cages et d'un indicateur donnant la position des cages dans le puits.

La vapeur est fournie par une batterie de 9 générateurs semi-tubulaires de 159 m² de surface de chauffe, timbrée à 10 kg; on ne brûle, pour les chauffer, que des déchets de lavage et des poussiers de coke.

Il y a 138 fours à coke, dont 42 du type Coppée, sans récupération, et 96 fours Solvay à récupération. La chaleur perdue de ces fours chauffe 18 générateurs fournissant environ 1 500 ch pour actionner des lavoirs, des broyeurs, et les usines à sous-produits; le reste sert pour produire l'électricité employée à l'éclairage et comme force motrice pour divers services. Cette électricité est produite dans une station centrale comprenant deux groupes électrogènes donnant un courant triphasé à 5 000 volts et deux dynamos à courant continu à 120 volts.

Les charbons à expédier par eau sont transbordés des wagons dans les bateaux au moyen de trois installations de chargement qui permettent d'embarquer 2 000 t par jour. La Compagnie de Dourges emploie des wagonnets munis d'un dispositif ingénieux de roues folles; l'extérieur du centre de la roue porte un plateau assemblé de façon étanche avec la roue de manière à former un réservoir plein d'huile jusqu'au niveau du bas de la fusée; des nervures faisant partie du moyeu ramassent l'huile en tournant et la laissent tomber de manière à graisser la partie du moyeu qui tourne sur la fusée.

On a visité également l'usine de Noyelles-Godault, appartenant à la Société de Malfidano, comprenant une usine à zinc à fours du système silésien, une usine à plomb et un atelier de désargentation.

SOCIÉTÉ DES INGENIEURS ALLEMANDS

N° 45. — *9 Novembre 1907.*

Progrès et nouveautés dans les parties de machines, par C. Volk.

Moyens d'arrêt et régularisation dans les machines à vapeur d'extraction, par Grunnewald *(fin)*.

Les nouvelles machines de l'industrie textile dans les dernières expositions, par C. Rohn *(suite)*.

Le matériel de chemins de fer à l'Exposition de Milan en 1906, par Metzeltin *(suite)*.

Flexion des ressorts à boudin animés d'un mouvement de rotation, par J. Lüttmann.

Groupe du Rhin inférieur. — Découpage des métaux au moyen de l'oxygène. — Développement de l'extraction du charbon.

Groupe de la Ruhr. — Les turbo-compresseurs.

Bibliographie. — Manuel de l'élasticité, par A. E. H. Love.

Revue. — Méthode Kirkwood pour le chauffage au combustible liquide. — Les bouées d'amarrage des grands paquebots Cunard. — Rupture d'un clapet de retenue de vapeur.

N° 46. — *16 Novembre 1907.*

Exploitation des gisements de nickel dans la Nouvelle-Calédonie, par G. Dieterich.

Installations mécaniques dans les usines métallurgiques, par Fr. Frölich *(suite)*.

Étude sur la régularisation de la marche des machines à vapeur, par W. Gensecke.

Théorie de la résistance des navires, par H. Lorenz.

Groupe de Bochum. — L'activité commerciale depuis cinquante ans en Allemagne et particulièrement dans le district de Bochum.

Bibliographie. — Tables pour le calcul de la stabilité des ponts et charpentes, par R. Otzen et G. Barkhausen. — Manuel de Métallurgie, par H. Wedding.

Revue. — Le développement du port de Dortmund et son influence sur le développement de l'industrie du fer et du charbon en Westphalie. — Etablissements royaux d'essais pour les matériaux entrant dans la construction des chemins de fer. — Construction du tunnel sous l'Elbe à Hambourg.

N° 47. — *23 Novembre 1907.*

Soufflerie à turbine Brown-Boveri-Rateau, de 750 ch, par K. Rummel.

Traction sur rail central, système Hanscotte, par R. Bonnin.

Exploitation des gisements de nickel dans la Nouvelle-Calédonie, par G. Dieterich *(fin)*.

Résistance des poutres en treillis, par L. Prandtl.

Groupe de Pomeranie. — L'employeur et l'ouvrier dans la société moderne.

Bibliographie. — Les matériaux et les calculs de résistance dans les constructions en béton armé, par M. Forster.

Revue. — Le record de l'Océan et les essais du *Mauretania.* — Le développement de l'industrie du pétrole dans le district de Wietze. — Dispositif pour le chargement des locomotives de mines employant le combustible liquide. — Vannes pour le barrage du canal de Lockport. — Le chemin de fer du Congo.

N° 48. — *30 Novembre 1907.*

Locomotive compound à marchandises 4/5 des chemins de fer de l'état italien, par G. Heise.

Distribution d'eau à haute pression de la ville de Nordhausen, par Michael.

Études sur la régularisation de la marche des machines à vapeur, par W. Gensecke *(fin)*.

Dispositifs pour l'extraction, l'emmagasinage et le transport des matières salines, établis par la fabrique de machines Amme, Giesecke et Konegen à Brunswick, par M. Buhle.

Le remorqueur à moteur à gaz *Wilhelm*.

Le congrès de Dusseldorf pour la législation industrielle.

Groupe de Hambourg. — Progrès dans la construction des indicateurs, la vérification de ces appareils, et l'indicateur Maihak.

Bibliographie. — Règles anciennes et récentes pour l'emploi du béton armé dans les constructions élevées.

Revue. — L'industrie sidérurgique en Autriche dans les 25 dernières années. — Fondations en béton armé. — Les tubes Serve sur les locomotives des chemins de fer prussiens. — Bateaux en ciment armé.

N° 49. — *7 Décembre 1907.*

Valeur économique des ascenseurs pour bateaux, par H. Bertschinger.

Installations mécaniques dans les usines métallurgiques, par Fr. Frölich *(suite).*

Le canal maritime de l'État de New-York, par D. A. Watt.

L'emploi de la benzine dans les automobiles par A. Heller.

Groupe d'Aix-la-Chapelle. — Questions techniques relatives aux colonies allemandes du sud-ouest de l'Afrique.

Bibliographie. — Éléments de machines, par K. Landion. — Les machines à courants continus, par E. Arnold. — Les turbodynamos et machines analogues, par F. Niethammer.

Revue. — La neuvième réunion générale de l'Association technique des constructeurs de navires, les 25 et 26 novembre 1907. — Courroies en acier. — Appareil de tirage à la lumière de la fabrique de papiers préparés de Düren. — Essais du vapeur à turbine *Créole.* — Machine à tailler les dents d'engrenages de la fabrique de machines Mesta. — Grue flottante de la fabrique de machines de Duisburg. — Chauffage des voitures des chemins de fer français. — Les locomotives sans feu. — Résultats d'exploitation du Chemin de fer métropolitain de Paris en 1906.

N° 50. — *14 Décembre 1907.*

Installations de desséchement de la commune de Wilmersdorf, par Müller.

Essai au choc pour les matériaux, par Ehrensberger.

État naturel de la question de la production des fissures dans les tôles de chaudières, par R. Baumann.

Valeur économique des ascenseurs pour bateaux, par H. Bertschinger *(suite).*

Étude sur la mise à l'eau des navires, par M. Schoeneich.

Groupe de Cologne. — Le sable de moulage et sa préparation.

Bibliographie. — Heures heureuses, par A. Naby. — Manuel d'électricité appliquée, par A. Thomslen.

Revue. — Le tunnel de Belmont du New-York and Long Island Railway. — La plus grande cheminée du monde. — Expériences de traction électrique sur les chemins de fer suédois.

Pour la Chronique et les Comptes rendus :

A. Mallet.

BIBLIOGRAPHIE

Ire SECTION

La ventilation et la réfrigération du tunnel du Simplon, par E. Mermier, Ingénieur des Chemins de fer Fédéraux (1).

Le mémoire de M. E. Mermier, qui contient des renseignements très intéressants sur les travaux exécutés pour la ventilation et la réfrigération du Simplon et sur les résultats obtenus, constituera pour la bibliothèque des Ingénieurs civils un précieux complément aux communications de M. Birault, relatives à la ventilation des grands souterrains. Nous en remercions M. Mermier et les Ingénieurs du Simplon, qui avaient déjà eu l'obligeance de nous communiquer d'utiles indications sur ce sujet.

J. G.

Agenda Dunod 1908. — *Construction :* I. *Généralités*, par A. Debauve. II. *Construction du bâtiment*, par E. Aucamus (2).

Soigneusement tenu au courant des progrès de l'art de construire, l'*Agenda Dunod* contient d'utiles renseignements sur les travaux publics et la construction du bâtiment, avec des généralités et les formules d'un usage courant pour les Ingénieurs et les Architectes.

La technique de la houille blanche, par E. Pacoret, Ingénieur électricien, avec préface de M. A. Blondel, Ingénieur des Ponts et Chaussées, professeur à l'École des Ponts et Chaussées (3).

La nouvelle et florissante industrie, née de l'utilisation de la puissance de l'eau courante des montagnes en vue de la production économique de la force motrice, tant sur les lieux mêmes des chutes d'eaux qu'au loin par l'intervention du courant électrique, est, en raison des merveilleux et prodigieux résultats qu'elle a donnés, la caractéristique la plus frappante des progrès de la science moderne.

L'ouvrage de M. E. Pacoret vient donc à son heure : il a la bonne fortune d'être présenté au public par un savant dont les travaux ont puissamment contribué au progrès de la science électrique et en particulier au développement de la transmission de l'énergie à grande distance.

(1) In-4°, 310 × 230 de 31 pages à deux colonnes, avec 54 figures. Lausanne, F. Rouge et Cie, 1907.

(2) In-16, 150 × 110 de 26-xiv-310-lxiv pages. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 49, quai des Grands-Augustins, 1908. Prix, relié : 2,50 f.

(3) In-8°, 255 × 165 de xxxvi-830 pages, avec 300 figures et 12 planches. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 49, quai des Grands-Augustins, 1908. Prix, broché : 25 f.

L'auteur a réuni en un ensemble homogène les méthodes et les moyens utilisés pour la mise en valeur des forces naturelles et qui ont permis l'édification de ces remarquables usines de houille blanche, qui constituent de nos jours un des plus précieux éléments de notre richesse nationale.

M. E. Pacoret nous donne de très utiles renseignements sur toutes les questions relatives à l'utilisation de la houille blanche : hydrologie, hydraulique, turbines, barrages, conduités forcées, lacs et réservoirs régulateurs, usines hydro-électriques aménagées, création des chutes d'eau, travaux d'aménagement, génératrices, réceptrices et transformateurs du courant électrique, transport de force, lignes à haute tension, usines centrales, électrochimie, électrométallurgie, lois et règlements.

J. G.

IIe SECTION

La construction d'une locomotive moderne, par le docteur Robert Grimshaw. Traduit sur la deuxième édition allemande par M. P. Poinsignon, Ingénieur E. C. L. (1).

Cette brochure a pour objet la description des procédés en usage, pour la construction d'une locomotive américaine *moderne*, dans les ateliers de la Maison Baldwin, à Philadelphie. L'auteur s'occupe d'abord de la chaudière et décrit minutieusement les diverses opérations : traçage, poinçonnage, perçage, cintrage, emboutissage, assemblage, rivetage, matage, etc., auxquelles les tôles sont successivement soumises. Il passe ensuite à la construction des cylindres, des roues, des châssis, et décrit en dernier lieu les méthodes suivies pour le montage de la locomotive. Ce sont surtout ces dernières qui caractérisent la pratique américaine : tandis qu'en Europe on commence généralement par le châssis, sur lequel on fixe d'abord la chaudière et ensuite les cylindres, de l'autre côté de l'Océan, on commence toujours par les cylindres, auxquels on assemble successivement les longerons et la chaudière.

Quelques remarques notées au hasard : les locomotives américaines modernes à marchandises sont encore pourvues de roues en fonte à contrepoids creux garnis de plomb. Les tenders sont encore très généralement à châssis de bois. Les chaudières, éprouvées à froid sous une surpression du tiers de la pression du timbre, subissent une seconde épreuve à chaud avec surpression du dixième. Les machines sortent finies de l'atelier de cinq à huit jours après l'achèvement de la chaudière. Une locomotive à voie étroite aurait même été livrée dans un délai de huit jours comptés de celui de la terminaison des dessins.

L'outil qu'en France on appelle un *mouton* et qui en Allemagne est un *ours* devient, en Amérique, un *singe*.

A. H.

(1) In-8°, 230 × 160 de xiv-64 pages, avec 42 figures. Paris, Gauthier-Villars, 55, quai des Grands-Augustins, 1907. Prix, broché : 3 fr. 75.

IIIe SECTION

Les nouvelles machines thermiques, moteurs rotatifs et turbines à vapeur et à gaz, turbines à gaz facilement liquéfiables, par A. Berthier, Ingénieur (1).

L'ouvrage que M. Berthier consacre aux nouvelles machines thermique est plutôt une revue générale des systèmes proposés récemment, qu'un traité d'Ingénieur proprement dit, destiné à servir de guide à la construction ou aux recherches nouvelles.

M. Berthier s'est proposé de grouper, dans une vue d'ensemble, les diverses machines thermiques qui, depuis une quinzaine d'années, ont été proposées en vue d'être substituées à la machine à vapeur à piston.

Dans la première partie, M. Berthier passe en revue les moteurs rotatifs à vapeur, dont l'un des seuls employés jusqu'ici d'une manière pratique est le moteur Hult, qui rend quelques services lorsqu'on ne dépasse pas la puissance d'une quinzaine de chevaux.

D'une manière générale, malgré l'ingéniosité des inventeurs, les défauts que présentent les moteurs rotatifs n'ont pas pu être entièrement corrigés jusqu'ici, et ils n'occupent, dans l'industrie, qu'une place fort modeste.

A la suite des moteurs rotatifs à vapeur, l'auteur décrit quelques modèles de moteurs rotatifs à pétrole.

Quelle que soit l'ingéniosité des inventeurs, ce ne sont là encore que des dispositifs d'essai et d'études qui ont à faire leurs preuves.

Nous en venons maintenant aux turbines à vapeur dont la description occupe environ les deux tiers du volume,

La théorie des turbines est exposée d'une manière très succincte, mais suffisante pour les Ingénieurs qui n'ont pas à en faire une étude spéciale.

M. Berthier s'étend davantage sur la construction des différents éléments de turbines et sur la description des divers systèmes employés; il donne également un certain nombre de résultats d'essais choisis parmi ceux que donnent des revues techniques.

Nous regrettons un peu que l'auteur paraisse mettre souvent sur le même rang des systèmes dont la valeur est, en réalité, fort différente. les uns n'étant jusqu'ici que des conceptions d'inventeurs, tandis que les autres ont reçu la consécration de la pratique.

Quant aux applications, M. Berthier n'en parle pour ainsi dire pas; il n'y consacre que quelques pages.

La dernière partie du volume est consacrée aux turbines à gaz et aux turbines à gaz facilement liquéfiables.

Ce sujet préoccupe actuellement un grand nombre de chercheurs. mais les résultats pratiques sont à peu près nuls jusqu'ici, et M. Berthier n'a pu citer une seule installation où fonctionne, d'une manière normale, soit une turbine à gaz, soit une turbine à gaz liquéfiable.

Dans cet ordre d'idées, les inventeurs se sont donné libre carrière,

(1) In-8°, 225 × 140 de XII-324 pages, avec 152 figures. Paris, H. Desforges, 29, quai des Grands-Augustins, 1908. Prix : broché, 10 f.

mais la réalisation pratique offre encore de si grandes difficultés que, malgré l'annonce périodique d'appareils dont les essais ont été absolument satisfaisants, nous avouons que nous restons sceptique et que nous croyons que l'heure n'a pas encore sonné de la construction pratique d'une véritable turbine à gaz.

Les chapitres consacrés à la classification des turbines à gaz ainsi qu'à l'étude des différentes catégories paraissent une sorte de superfétation dans un ouvrage comme celui de M. Berthier. Il faudrait, tout d'abord, établir que la turbine à gaz est réalisable avant d'examiner quel avenir économique lui est réservé.

Sous ces réserves, nous pouvons dire que l'ouvrage de M. Berthier est d'une lecture attrayante et qu'il mérite sa place dans la bibliothèque des Ingénieurs et des techniciens.

Jean Rey.

Les turbines à vapeur et à gaz, par Giuseppe Belluzzo, professeur à l'École technique supérieure de Milan. Traduit sur l'édition italienne augmentée par l'auteur, par G. Civalleri (1).

L'ouvrage de M. Belluzzo a fait sensation en Italie, la situation de l'auteur, professeur à l'École technique supérieure de Milan, et bien connu en Italie, lui assurant immédiatement les lecteurs parmi les hommes de science et les techniciens.

La traduction qu'en donne M. Civalleri est d'une grande précision, et elle permet aux lecteurs français de profiter d'un ouvrage qui est un véritable traité sur la matière, comparable à l'ouvrage bien connu du professeur Stodola.

M. Belluzo consacre, tout d'abord, une centaine de pages à la théorie graphique des fluides élastiques et de leurs mouvements.

Il résume d'une manière très heureuse et à l'aide de graphiques parfaitement clairs les propriétés de la vapeur d'eau saturée, de la vapeur d'eau surchauffée et celle des gaz.

Il donne ensuite la théorie du choc des fluides élastiques et celle du travail des fluides se mouvant dans un canal. Il termine cette première partie en résumant les recherches expérimentales effectuées sur l'écoulement des gaz et des vapeurs.

Nous signalons particulièrement le chapitre VI sur le travail développé par un fluide qui se meut dans un canal. La théorie graphique conduit à des conclusions très intéressantes au point de vue du tracé à donner au aubes, soit des distributeurs fixes, soit des aubages mobiles.

Dans la deuxième partie, M. Belluzzo applique les méthodes graphiques au calcul des turbines à vapeur, et accessoirement, des turbines à gaz. Il fait précéder la théorie d'une classification générale des turbines, indispensable pour séparer les divers systèmes.

M. Belluzzo distingue deux groupes principaux : les turbines à une seule roue et les turbines à roues multiples.

Il subdivise à leur tour ces deux groupes en turbines à action ou à

(1) In-8°, 255 × 165 de xvi-420 pages, avec 317 figures et 23 planches. Paris, H. Desforges, 29, quai des Grands-Augustins, 1907. Prix : broché, 20 f.

réaction, en turbines à action partielle ou à action totale ou en turbines limites, dans lesquelles on combine entre eux ces divers modes.

Nous croyons qu'au point de vue mécanique et thermo-dynamique, la distinction des turbines par un nombre de roues est tout à fait arbitraire. Les propriétés d'une turbine ne dépendent pas, en réalité, du nombre de roues, mais du mode d'écoulement du fluide et de la manière dont son énergie est utilisée.

D'ailleurs, quel que soit le mode de classification adopté, l'étude des turbines restera toujours claire si l'auteur a soin de ne pas s'écarter du développement logique qu'il a posé tout d'abord.

Après avoir étudié le mode d'écoulement de la vapeur dans les turbines du premier et du second groupe, l'auteur cherche à faire la comparaison des turbines et des machines à piston. C'est l'objet du chapitre XII, dont nous recommandons la lecture fort intéressante, car elle fait comprendre les pertes respectives des deux genres de machines et leurs avantages et inconvénients.

L'auteur fait également une comparaison analogue entre les turbines et les moteurs à gaz, et il examine la possibilité de construction des turbines à gaz.

Le chapitre XIV est consacré au rendement des turbines. Il ne renferme pas de nouveauté, mais l'exposition de cette question et un certain nombre de résultats numériques choisis avec soin ne manquent pas d'intérêt.

Le chapitre XV est consacré à la variation du travail moteur dans les turbines et à son influence sur le rendement.

Enfin l'auteur examine plus loin l'influence du vide sur les turbines en les comparant aux machines à piston.

Cette partie de l'ouvrage se termine par l'exposé de quelques règles générales pour le calcul préliminaire des turbines à vapeur.

La troisième partie est consacrée à la description d'un certain nombre de systèmes de turbines à vapeur; d'assez nombreuses figures illustrent le texte, ainsi que des résultats d'expériences fournis par les constructeurs ou déjà publiés.

La quatrième partie de l'ouvrage est consacrée à l'application des turbines à vapeur à la marine et à la propulsion des navires. L'auteur donne un certain nombre d'exemples et montre l'avenir de cette branche d'applications de la turbine à vapeur.

Une note scientifique, dans laquelle M. le professeur Belluzzo expose des considérations sur l'emploi de la surface thermique des corps $[f(pi_0, v, T) = O]$ et ses avantages pour l'étude des propriétés d'un corps quelconque, est intéressante. C'est là un mode d'exposition et de classification des données physiques qui, sans être absolument nouveau, permet de coordonner, dans certains cas, des propriétés connues, en facilitant la discussion des problèmes posés.

D'une manière générale, la lecture du traité de M. Belluzzo est à recommander à tous les Ingénieurs qui s'occupent spécialement de turbines à vapeur et de machines analogues, et il mérite sa place à côté du traité déjà célèbre du professeur Stodola.

Jean Rey.

TABLE DES MATIÈRES

CONTENUES

DANS LA CHRONIQUE DU 2e SEMESTRE, ANNÉE 1907

(Bulletins de juillet à décembre.)

TABLE DES MATIÈRES

TRAITÉES DANS LE DEUXIÈME SEMESTRE, ANNÉE 1907

(Bulletins de juillet à décembre.)

ADMISSION DE NOUVEAUX MEMBRES

BIBLIOGRAPHIE

CHEMINS DE FER

CHIMIE INDUSTRIELLE

CHRONIQUE

Voir *Table spéciale des Matières.*

COMPTES RENDUS

CONGRÈS

DÉCÈS

DÉCORATIONS FRANÇAISES

Officier de la Légion d'honneur : M. G. Darrieus.

Chevaliers de la Légion d'honneur : MM. L. Demerliac, Ad. Hugot, A.-L.-L. Lebon, Ch. Bartaumieux, E. Kœchlin.

Officiers de l'instruction publique : MM. G. Brunon, P.-H. Ferrand, E.-L. Surcouf, G. de Retz.

Officiers d'académie : MM. G. Allamel, E. Bourgeois, A. Cornuault, R. Ellissen. E. Louyot.

Officier du mérite agricole : M. A. Vautier.

Chevaliers du mérite agricole : MM. F.-A. Fernez, A.-M. Pifre, P.-N. Sicault, Marboutin et R. Le Brun.

DÉCORATIONS ÉTRANGÈRES

Grand croix de la Conception du Portugal : M. G. Hersent.

Commandeurs de San-Thiago du Portugal : MM. J. Hersent, A. Maury, L. Strauss.

DIVERS

DONS ET LEGS

ÉLECTRICITÉ

EXPOSITIONS

HYGIÈNE

MÉCANIQUE

MÉTALLURGIE

MOTEURS

NAVIGATION

NÉCROLOGIE

NOMINATIONS

OUVRAGES, MÉMOIRES ET MANUSCRITS REÇUS

PLANCHES

PRIX ET RÉCOMPENSES

TRAVAUX PUBLICS

TABLE ALPHABÉTIQUE

PAR

NOMS D'AUTEURS

DES MÉMOIRES INSÉRÉS DANS LE 2e SEMESTRE, ANNÉE 1907.

(Bulletins de juillet à décembre.)

Le Secrétaire Administratif, Gérant,

A. de Dax.

IMPRIMERIE CHAIX, RUE BERGÈRE, 20, PARIS. — 19558-12-07. — (Encre Lorilleux).

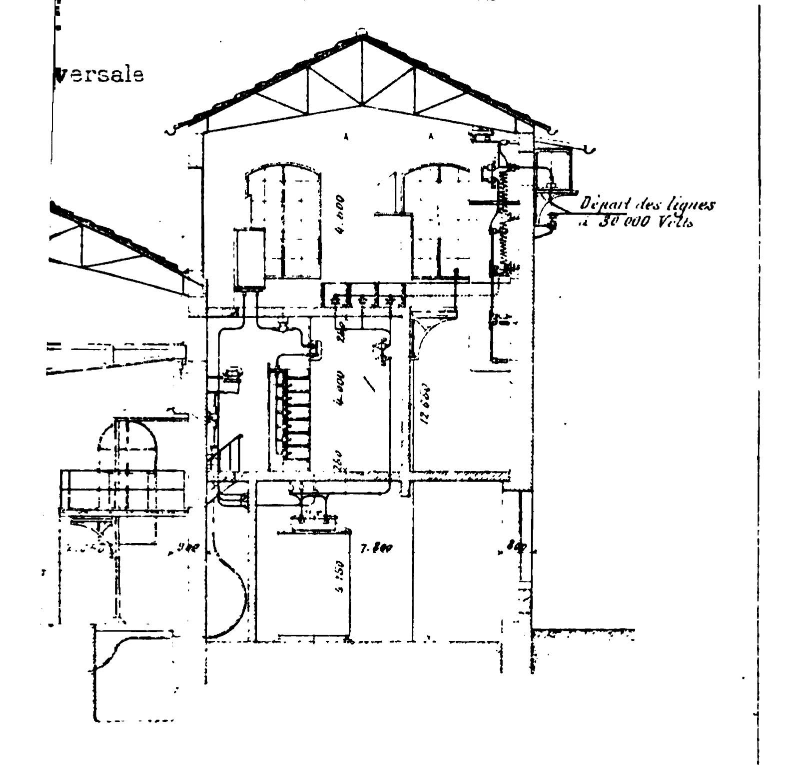


Fig. 6. — Plan

L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris

6e Série. 60e Année. N° 12.

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ

DES

INGÉNIEURS CIVILS

DE FRANCE

FONDÉE LE 4 MARS 1848

RECONNUE D'UTILITÉ PUBLIQUE PAR DÉCRET DU 22 DÉCEMBRE 1860

BULLETIN

DE

Décembre 1907.

PARIS
HOTEL DE LA SOCIÉTÉ
19, RUE BLANCHE, 19
TÉLÉPHONE 133-82

1907

BULLETIN

DE

Décembre 1907.

TABLE DES MATIÈRES

MARQUES DÉPOSÉES

"PENNSYLVANIA OIL WORKS"

A. TAYART

" PENNSYLVANIA "

A. POULET & V. TAYART

INGÉNIEURS

TABLEAU COMPARATIF *des propriétés d'entraînement par la vapeur des huiles minérales employées au graissage des cylindres des machines à vapeur à simple, double et triple détente.*

NUMÉROS DES QUALITÉS	100° à 150°	150° à 160°	160° à 170°	170° à 180°	180° à 190°	190° à 200°	200° à 210°	210° à 220°	220° à 230°	230° à 240°	240° à 250°	250° à 260°	260° à 270°	270° à 280°	280° à 290°	290° à 300°	300° à 310°	310° à 320°	320° à 330°	TENEUR EN GOUDRON	TEMPÉRATURE à laquelle l'huile commence à donner des traces de carbonisation
100 Pressions de 1 à 5 kg	14,96	6,75	16,20	18,90	33,09	10,10	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Nulle	295°
95 Pressions de 5 à 8 kg	8,00	4,33	12,09	11,70	24,98	22,08	10,40	5,52	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Nulle	323°
97 Pressions de 8 à 12 kg	»	»	3,00	5,00	5,00	13,66	23,34	30,00	20,00	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	Nulle	331°
99 Petite surchauffe.	»	»	»	»	»	1,72	1,73	3,45	6,95	10,30	20,70	24,20	30,95	»	»	»	»	»	»	Nulle	345°
500 Haute surchauffe.	»	»	»	»	»	»	»	»	1,70	1,72	1,75	3,45	6,90	10,35	11,05	13,80	17,25	20,72	9,46	1,85	375°

HUILES POUR CYLINDRES. Elles sont préparées suivant des méthodes techniques qui nous sont personnelles afin qu'elles répondent aux données du tableau ci-dessus.

HUILES POUR VAPEUR SURCHAUFFÉE. Elles sont préparées suivant une méthode analogue, mais de façon à ce qu'elles puissent résister aux températures élevées de surchauffe sans donner lieu à décomposition.

HUILES POUR MOUVEMENTS DE MACHINES. Soigneusement étudiées et composées pour chaque cas particulier suivant le travail à fournir.

HUILE SOLUBLE SPÉCIALE POUR TOURNEURS, DÉCOLLETEURS, etc...

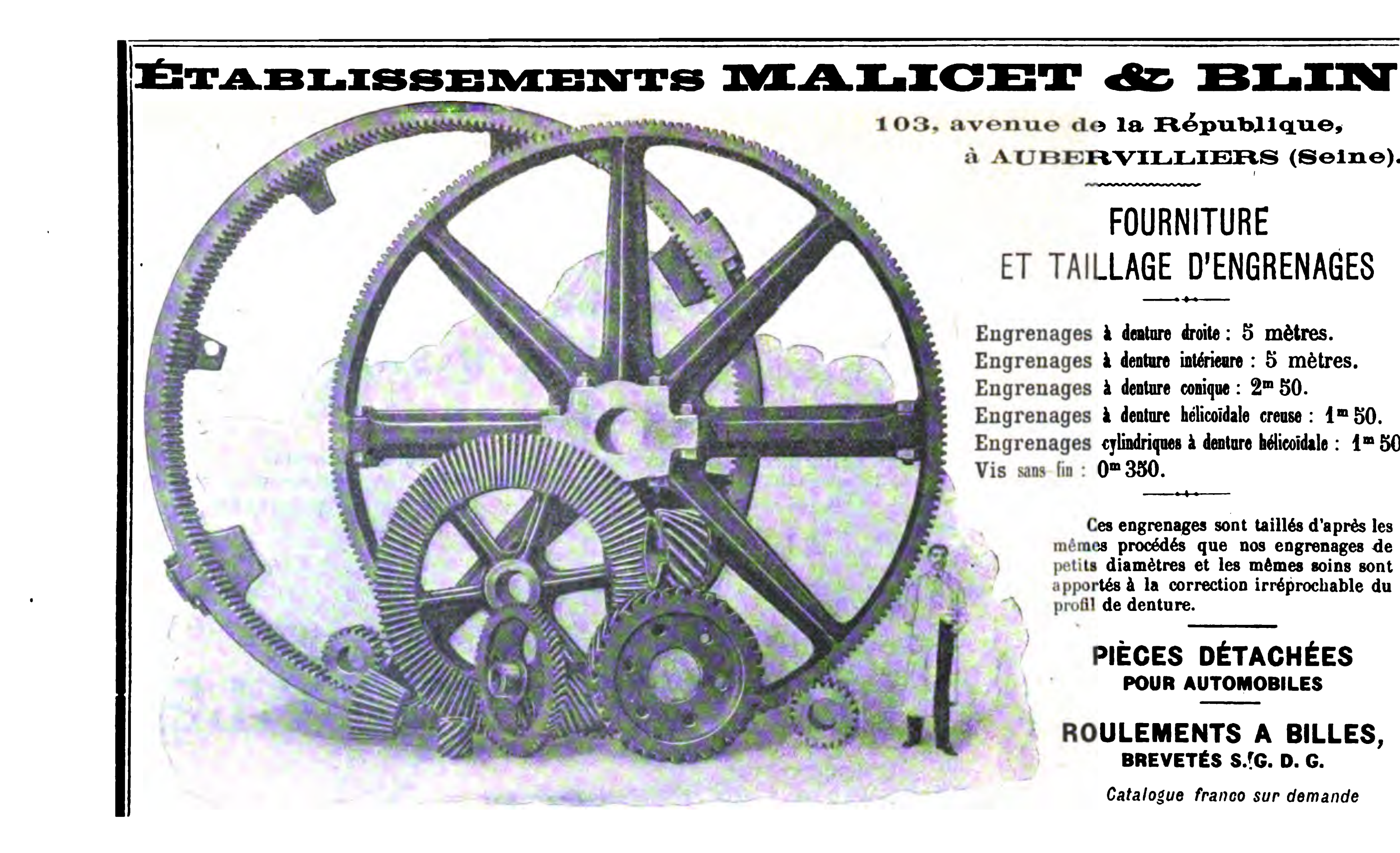
Cette huile n'oxyde pas, elle ne dépose pas et elle résiste sans se décomposer même aux basses températures. Elle donne avec l'eau une émulsion parfaitement stable possédant un pouvoir lubrifiant très élevé.

HUILES SPÉCIALES POUR TURBINES A VAPEUR, AUTOMOBILES, DYNAMOS, etc... GRAISSES CONSISTANTES, GRAISSES POUR CHARIOTS, GRAISSES NOIRES.

TÉLÉPHONE : *AUBERVILLIERS 52*   BUREAUX ET USINE : 108, Avenue de la République — AUBERVILLIERS (Seine).


SOCIÉTÉ ANONYME DES ÉTABLISSEMENTS
CAPITAL SOCIAL : 2.250.000 FRANCS
ADT
TUBES ISOLATEURS
Armés de laiton, de tôle d'acier plombée ou galvanisée (zinc et cuivre) et cuirassés d'acier étiré sans soudure.
PLUS D'INCENDIES
par courts circuits
PLUS DE PERTES
à la terre en employant les
TUBES "ADT"
Les seuls en véritable "ISOLITE"
Matériel complet
pour installations et constructions électriques
ÉCLAIRAGE DE SECOURS
du Metropolitain, Chemins de fer, Ville de Paris, Administrations, Usines, Banques, Hôtels, etc., etc.
DÉPOT A PARIS : 3, rue Cunin-Gridaine (IIIe).
TÉLÉPHONE : 152-40
USINES A PONT-A-MOUSSON et à BLÉNOD (Meurthe-et-Moselle).
SIÈGE SOCIAL A PARIS : 45, rue Turbigo.
Catalogues, Guides, Échantillons sur demande.
Se méfier des imitations.

3.


ÉTABLISSEMENTS MALICET & BLIN
103, avenue de la République,
à AUBERVILLIERS (Seine).
FOURNITURE
ET TAILLAGE D'ENGRENAGES
Engrenages à denture droite : 5 mètres.
Engrenages à denture intérieure : 5 mètres.
Engrenages à denture conique : 2m 50.
Engrenages à denture hélicoïdale creuse : 1m 50.
Engrenages cylindriques à denture hélicoïdale : 1m 50
Vis sans-fin : 0m 350.
Ces engrenages sont taillés d'après les mêmes procédés que nos engrenages de petits diamètres et les mêmes soins sont apportés à la correction irréprochable du profil de denture.
PIÈCES DÉTACHÉES
POUR AUTOMOBILES
ROULEMENTS A BILLES,
BREVETÉS S.G. D. G.
Catalogue franco sur demande

Anciens Ateliers OLRY & GRANDDEMANGE

ÉTABLISSEMENTS SABROU

SOCIÉTÉ ANONYME

Bureaux et Ateliers : 247-249, Avenue de Paris, **LA PLAINE SAINT-DENIS**

MÉDAILLES ARGENT ET OR
aux Expositions Universelles
PARIS 1878, 1889, 1900

Téléphone : 437.57
Adresse télégraphique :
MÉCANIQUE PLAINE SAINT-DENIS

FOURNISSEURS
de la Ville de Paris, des Ministères
et des Chemins de fer

Machines à Vapeur

à Soupapes (genre Sulzer), à Pistons valves
(breveté s. g. d. g.)

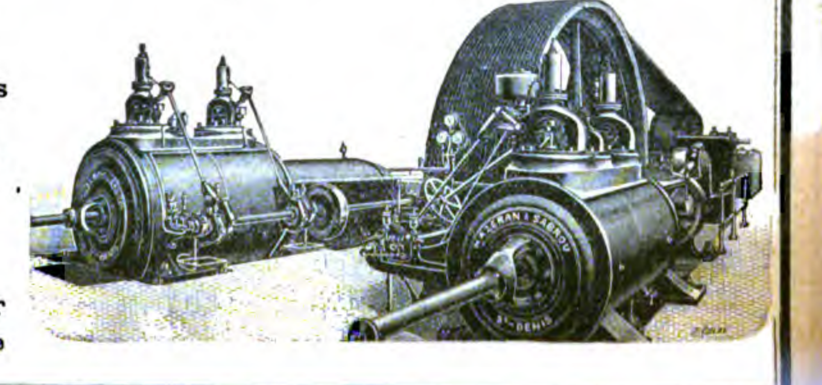
Machines à Tiroir (détente Rider), fixes, demi-fixes, locomobiles

Groupes électrogènes de toutes puissances

Épurateurs d'eau d'alimentation — Transmissions
Installations d'usines

Élévations d'Eau — Pompes à Piston plongeur

Pompes Girard — Pompes à Clapets commandés à vitesse accélérée



Voir Bulletin des Procès Verbaux, page 8.

TABLE DES ANNONCES

IMPRIMERIE CHAIX, RUE BERGÈRE, 20, PARIS. — 19562-12-07. — (Encre Lorilleux).

Ce compte rendu paraît tous les mois.

La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses Membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

Aucune reproduction des Mémoires publiés dans les *Bulletins* ne pourra avoir lieu sans l'autorisation du Comité et l'assentiment des auteurs.

La Société s'est réservé un certain nombre d'exemplaires de comptes rendus pour les échanger contre les divers recueils périodiques, scientifiques, techniques et industriels, qui paraissent en France et à l'étranger.

Les demandes d'échange doivent être adressées *(franco)* au Président de la Société, rue Blanche, 19, à Paris.

MM. les Membres de la Société sont priés de faire parvenir régulièrement au Secrétariat de la Société les changements survenus dans leurs fonctions et leurs résidences.

La cotisation annuelle de 36 francs peut, au choix de chaque Membre, être remplacée par une SOMME DE SIX CENTS FRANCS UNE FOIS PAYÉE.

TARIF NET
DES TIRAGES A PART

	NOMBRE D'EXEMPLAIRES											
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1500	2000
IMPRESSIONS	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
Pour une feuille in-8° (16 pages) remise en pages.	13 40	21 55	29 65	36 75	41 75	46 75	51 70	56 70	61 45	65 65	93 20	120 75
Pour 1/2 feuille in-8° (8 pages) remise en pages.	7 25	11 80	16 45	19 45	21 40	24 95	28 35	31 75	35 20	38 60	56 95	75 10
Pour 1/4 feuille in-8° (4 pages) remise en pages.	4 70	7 25	9 75	13 40	15 45	16 80	18 40	19 95	21 55	22 45	33 60	43 05
Couverture (composition à la 1re page seulement).	8 40	12 10	15 75	21 »	23 65	26 50	29 40	32 30	35 20	37 80	52 50	67 20
PLANCHES												
Tirage et papier.	8 »	15 »	22 »	29 »	36 »	43 »	50 »	57 »	64 »	71 »	106 »	150 »

Quand il y aura des planches, il sera ajouté 1 fr. 05 *pour le pliage de* 100 *planches.*

Quand il y aura, dans le texte, des gravures, phototypies ou similigravures, il sera ajouté 1 fr. 05 *par quart de page de gravure pour mise en train spéciale.*

Ces prix sont susceptibles d'une légère augmentation, suivant la couverture et la dimension des planches.

Pour les tirages à part, s'adresser à M. le Secrétaire Administratif, rue Blanche, 19, Paris.

